Environnement Canada
Service de la protection de l'environnement

Environment Canada
Environmental Protection Service

Techniques de destruction des polychlorobiphényles (PCB)

Canada

Analyse économique et technique
Rapport SPE 3-EC-83-1F

Direction générale du contrôle des incidences environnementales
Février 1983

SÉRIE DE RAPPORTS DU SERVICE DE LA PROTECTION DE L'ENVIRONNEMENT

Les rapports d'analyse économique et technique portent sur les revues de l'état des connaissances, les relèves de bibliothèques, les inventaires industriels ainsi que leurs recommandations connexes dans les cas où celles-ci n'impliquent aucune recherche expérimentale. Ces analyses sont entreprises, soit par un organisme extérieur, soit par le personnel du Service de la protection de l'environnement.

Les autres catégories de la série de rapports du S.P.E. comprennent les groupes suivants: règlements, codes et accords; politique et planification; développement technologique; surveillance; guides de formation; rapports et exposés à des enquêtes publiques et impacts environnementaux.

Les demandes relatives aux rapports du Service de la protection de l'environnement doivent être adressées au Service de la protection de l'environnement, Environnement Canada, Ottawa, Ontario, K1A, 1C8, Canada.

Techniques de destruction des polychlorobiphényles (PCB)

D'après le rapport présenté à la Direction de la gestion des déchets par
M.M. Dillon Ltd.
Ingénieurs conseils
Toronto (Ontario)

Direction de la gestion des déchets
Direction générale du contrôle des incidences environnementales
Service de la protection de l'environnement

SPE 3-EC-83-1F
Février 1983

Environnement Canada

Publication distribuée par
Environnement Canada
Ottawa
K1A 1C8

Édition française de
Destruction Technologies for Polychlorinated Biphenyls (PCBs)
préparée par le Module d'édition française
d'Environnement Canada

N° de catalogue: En 46-3/83-1F
ISBN 0-662-91893-2

©
Ministre des Approvisionnements et Services

RÉSUMÉ

Le présent rapport expose les données portant sur les méthodes efficaces et acceptables de destruction des PCB au Canada. Ces renseignements proviennent de diverses sources et constituent les données de base sur lesquelles on pourrait fonder des évaluations futures ou dont on pourrait se servir pour faciliter un éventuel processus de sélection. Les techniques en question se regroupent en quatre catégories: procédés d'incinération classique, nouveaux procédés d'incinération, procédés chimiques, procédés physico-chimiques.

*

* *

ABSTRACT

Data concerning efficient and acceptable methods for the destruction of PCBs in Canada are presented in this report. The information on the technologies was gathered from numerous sources to provide background information for future assessment or to assist in a selection process. The technologies reviewed fall into four categories: conventional incineration, novel incineration, chemical processes and physical/chemical processes.

AVANT-PROPOS

Le présent document se fonde principalement sur un rapport traitant des techniques de destruction des PCB rédigé sous contrat par M.M. Dillon Limited, en février 1982; cependant, une quantité considérable de renseignements ont été fournis par les divers fabricants de matériel. Ce rapport passe donc en revue les techniques existantes non pas pour en faire une évaluation mais plutôt pour recueillir des informations précises qui pourraient aider d'autres usagers à mieux connaître le degré d'avancement de la technique et à pouvoir éventuellement recommander l'adoption de solutions rentables pour la destruction des PCB au Canada.

L'étude s'imposait du fait que des efforts considérables soit actuellement consacrés à la mise au point de techniques de destruction des déchets dangereux (l'étude énumère plus de 80 techniques de destruction des PCB), et que la nécessité d'agir se fait de plus en plus sentir.

L'inquiétude naît du fait que les PCB et les déchets contenant des PCB ne sont pas détruits mais entreposés en quantités de plus en plus importantes, à divers endroits du Canada, étant donné que les usines de destruction des PCB ne sont pas encore construites. D'importants déversements de ces déchets contaminés se sont produits au Canada. Les centres de recherches parviennent cependant à mettre au point un certain nombre de nouveaux procédés de traitement qui diffèrent des procédés d'incinération classique à haute température. Deux usines de traitement (fours rotatifs) ont récemment été inaugurées aux États-Unis, mais il est possible que l'on interdise à tout moment le transport des PCB entre les deux pays. Les lignes directrices de l'Administration fédérale pour la gestion des déchets de PCB seront bientôt publiées par Environnement Canada.

Il est à noter que cette première phase du programme, qui sera suivie par d'autres, n'a pas pour objet d'appuyer une cause plutôt qu'une autre ni de comparer entre eux les divers procédés ou systèmes.

Les données contenues dans la présente publication proviennent directement du rapport déposé par M.M. Dillon Limited et des renseignements reçus des fabricants. Ces données n'ont pas fait l'objet d'une révision technique rigoureuse de la part de la Direction générale du contrôle des incidences environnementales et le contenu du rapport ne reflète pas nécessairement les vues et politiques d'Environnement Canada.

TABLE DES MATIÈRES

	Résumé/Abstract	III
	Avant-propos	IV
	Liste des tableaux	VII
	Liste des figures	VII
1	**Introduction**	1
2	**Documentation et recueil de l'information**	2
3	**Contrôles et solutions**	4
3.1	Les risques pour l'environnement et la santé	4
3.2	Production, distribution et historique de l'élimination des PCB	4
3.3	Le PCB au Canada	6
4	**Procédés de destruction**	10
4.1	Généralités	10
4.2	Procédés d'incinération classiques	10
4.2.1	Incinérateurs de déchets	11
4.2.1.1	Rollins Environmental Services Inc.	11
4.2.1.2	ENSCO Incorporated	13
4.2.1.3	Incinérateur de déchets chimiques	16
4.2.2	Procédés de co-traitement	19
4.2.2.1	Chaudières à haut rendement	19
4.2.2.2	Fours à ciment	22
4.2.2.3	Autres procédés d'incinération par four	27
4.2.2.4	Co-traitement par fourneau de fusion de l'aluminium	27
4.2.3	Incinération à bord des navires	28
4.2.3.1	MV Vulcanus	28
4.2.3.2	Autres types d'incinérateurs à bord de navires	29
4.3	Nouveaux procédés d'incinération	29
4.3.1	Incinérateurs à oxygène	30
4.3.1.1	Unité mobile de traitement des déchets dangereux de Pyro-Magnetics (MWP-6000)	30
4.3.1.2	Procédé chimique au plasma	33
4.3.2	Procédés des sels en fusion	33
4.3.2.1	Procédé Rockwell par sels en fusion	34
4.3.3	Procédés de traitement par lit fluidisé	35
4.3.3.1	Incinérateur Rockwell à lit fluidisé	35
4.3.3.2	Autres procédés de combustion par lit fluidisé	41
4.3.4	Procédés diesel	41
4.3.4.1	The D & D Group Incorporated	41
4.4	Procédés chimiques	43
4.4.1	Déchloruration chimique	43

4.4.1.1	Le procédé Goodyear au naphthalide de sodium	44
4.4.1.2	PCBX Sunohio	45
4.4.1.3	Procédé Acurex	47
4.4.1.4	Procédé PPM	48
4.4.1.5	Procédé NaPEG	49
4.4.1.6	Procédé Environmental International	50
4.4.1.7	Autres procédés de déchloruration au sodium*	51
4.4.2	Procédés par énergie radiante	52
4.4.2.1	Réacteur Thagard à haute température à paroi fluide	52
4.4.2.2	Procédé de pyrolyse par arc au plasma	55
4.4.2.3	Procédé de catalyse à micro-ondes	57
4.4.2.4	Procédé par irradiation du plasma aux micro-ondes	58
4.4.2.5	Procédé de réduction chimique sous l'effet de la lumière	59
4.4.2.6	Autres techniques de dégradation par lumière ultra-violette	60
4.4.3	Procédés par oxydation	62
4.4.3.1	Procédé supercritique à l'eau de la société Modar	62
4.4.3.2	Procédé d'oxydation par voie humide WETOX®	64
4.4.3.3	Oxydation catalysée par voie humide, IT Enviroscience	65
4.5	Procédés physico-chimiques	65
4.5.1	Sociétés spécialisées dans l'extraction physico-chimique	66
4.6	Décomposition des PCB par substances bactériennes	66
4.6.1	Cultures bactériennes adaptées aux PCB	67
	Références	69

LISTE DES TABLEAUX

1	Production et distribution du PCB aux États-Unis	5
2	Quantité de PCB en usage dans les transformateurs et les résistances	7
3	Quantité de PCB en stock au Canada	8
4	Quantité de liquides contaminés au PCB dans les entrepôts privés	8
5	Inventaire du PCB au Canada par industrie	9
6	Installations homologuées pour la destruction de PCB dans les incinérateurs de déchets chimiques	20
7	Destruction des PCB dans les chaudières à haut rendement	23
8	Paramètre du réacteur	59

*

* *

LISTE DES FIGURES

1	Schéma de l'incinérateur de Rollins Environmental Services	12
2	Schéma du système d'incinération ENSCO	15
3	Système d'incinération de déchets liquides à combustion horizontale	17
4	Fours pour procédé par voie humide	25
5	Unité mobile de traitement des déchets dangereux	31
6	Schéma du réacteur à sels en fusion – version commerciale	36
7	Installation commerciale fixe pour destruction par sels en fusion	37
8	Usine portative de destruction par sels en fusion	38
9	Usine expérimentale à lit fluidisé	39
10	Coupe verticale d'un réacteur typique à paroi liquide	53
11	Section horizontale d'un réacteur typique à paroi liquide	54
12	Schéma du réacteur à plasma	56
13	Schéma du procédé supercritique à l'eau de Modar	63

1 INTRODUCTION

Au cours de cette décennie, les autorités scientifiques et les instances publiques ont manifesté leur inquiétude quant à la présence de polychlorobiphényle (PCB) dans l'environnement et dans les aliments. On évalue davantage les effets cumulatifs à long terme que pourrait avoir une exposition prolongée au PCB sur la santé de l'être humain et sur les autres formes de vie que l'effet brutal et immédiat associé à une courte exposition à ces produits chimiques. En se fondant sur les avertissements formulés par la communauté scientifique, les autorités chargées de la réglementation au Canada et aux États-Unis ont promulgué des lois pour le contrôle des PCB. La production de PCB a été interdite en 1977 dans les deux pays et des mesures de contrôle strictes ont été mises en vigueur. Ainsi, au lieu de s'accumuler dans l'environnement, les PCB et les déchets contenant des PCB sont, à l'heure actuelle, entreposés sous diverses formes en attendant une destruction finale.

L'objet de la présente étude technique est de démontrer qu'il existe au Canada et aux États-Unis de nombreux procédés de traitement et de destruction des déchets de PCB à divers stades de développement.

2 DOCUMENTATION ET RECUEIL DE L'INFORMATION

Nous avons commencé par effectuer une recherche superficielle de la documentation dans le domaine, mais celle-ci s'est avérée infructueuse compte tenu du fait que le type de développement technologique des méthodes de destruction du PCB est un mélange des éléments suivants:

- application d'une technique conventionnelle sur laquelle se greffe un nouveau procédé secret;
- études conceptuelles faisant l'objet de rapports provisoires entre ceux qui mettent les méthodes au point et les organismes qui les financent;
- projets commerciaux communs pour lesquels il y a intérêt à ne pas révéler les méthodes utilisées afin de conserver un avantage concurrentiel.

Ainsi, les possibilités de réaliser des profits élevés pour les compagnies obtenant l'autorisation de détruire des PCB constituent un pôle d'attraction pour de nombreuses personnes désireuses de promouvoir leurs méthodes de traitement sans se soucier de l'objectivité à laquelle on peut s'attendre dans la documentation scientifique. Ainsi, des documents comme Hazardous Materials Intelligence Report et Eco/Log Week constituaient souvent les meilleures sources d'information.

L'autre source importante de renseignements a été l'Environmental Protection Agency des États-Unis (EPA). Sa façon très structurée d'autoriser la destruction du PCB est révisée, région par région (régions EPA I à X) tous les deux mois. L'EPA enregistre chaque technique pour laquelle une demande d'homologation a été déposée ainsi que son stade de développement et un contact régional auprès duquel l'agence peut obtenir tout renseignement additionnel.

C'est donc en se servant de cette liste de l'EPA, et en se basant sur ses propres connaissances du domaine, que la société Dillon a pu se mettre en rapport avec divers organismes pour tenter d'obtenir l'information recherchée. Après avoir obtenu la garantie que les organismes contactés acceptaient de participer à l'étude, on envoyait une lettre de confirmation ainsi qu'un exemplaire du mandat de l'étude. Dans la lettre, on encourageait la personne contactée à analyser soigneusement ce qu'exigeait le mandat et de répondre en conséquence.

Les trois grandes études suivantes effectuées aux États-Unis ont permis de compléter les renseignements ainsi recueillis: EPRI, 1979; Ackerman et coll., 1981 et Sworzyn et Ackerman, 1981.

Ces rapports, bien qu'utiles parce qu'ils exposaient la dynamique du domaine jusqu'en 1980, présentaient l'inconvénient de ne suggérer que quelques applications possibles des systèmes connus et commercialement disponibles. Après vérification, nous avons constaté que, dans de nombreux cas, la technique suggérée n'était même pas appliquée à la destruction du PCB.

Les données recueillies auprès des sociétés variaient d'une compagnie à l'autre. En effet certaines compagnies nous ont fourni des données détaillées, alors que d'autres ne nous ont donné que des informations générales. Certaines en étaient à un stade si précoce de développement qu'elles n'avaient décrit le procédé employé que de façon très succincte.

Les données concernant les coûts, arrêtés au mois de février 1982, ont été établies en ne tenant pas compte des prix suggérés. Pour les fins de cette étude, il était important de se référer à des coûts en capital et à des coûts d'exploitation qui soient comparables. Or, les coûts fournis par les promoteurs d'une technique nouvelle tiennent souvent compte de retombées sur le plan local dont ne bénéficierait pas forcément l'utilisateur potentiel ne résidant pas au même

endroit. Cela ne signifie pas que l'on ne pourrait retirer les mêmes avantages au Canada, ma... toute comparaison ne devrait se faire que sur une base individuelle.

Il faut prendre certaines précautions dans l'exploitation des données relatives aux coûts. En effet, le rythme d'alimentation en PCB, retenu pour établir ces données, signifirait que la quantité de déchets à traiter serait épuisée dans un temps relativement court. Il faut donc songer qu'un procédé peut être sous-utilisé, autrement dit, il faut sous-estimer sa capacité de production au détriment de l'économie d'échelle qu'il pourrait procurer. Pour ce qui est du calcul des coûts, nous avons supposé que 20 p. cent des déchets de PCB se présentaient sous forme liquide (huile) et 10 p. cent sous forme de déchets solides.

3 CONTRÔLES ET SOLUTIONS

Dans cette partie, nous analysons les raisons pour lesquelles il est impératif de détruire les grandes quantités de PCB en usage et en entreposage. Nous exposons en résumé les risques que posent ces produits pour l'environnement et la santé et nous présentons un bref historique de l'expérience canadienne. Nous précisons enfin l'étendue du problème des PCB au Canada.

3.1 Les risques pour l'environnement et la santé

Les matières synthétiques faisant partie de la catégorie des composés organiques chlorés et qui sont largement utilisées par un certain nombre d'industries, suscitent de sérieuses inquiétudes à cause de leur longévité et de leur grande diffusion. Parmi ces matières, les polychlorobiphényles (PCB) suscitent les plus vives inquiétudes, à cause de leur résistance à la dégradation et les risques que comporte l'exposition prolongée à de faibles concentrations de PCB.

Les rapports faisant état des effets toxiques des PCB et publiés dans les ouvrages de médecine industrielle ont été pendant longtemps ignorés par le grand public. L'opinion publique s'est cependant rendu compte de la gravité de la situation suite à un certain nombre d'incidents, dont le plus sérieux est celui de la contamination de l'huile de riz au Japon en 1979, incident ayant affecté un millier de personnes.

3.2 Production, distribution et historique de l'élimination des PCB

La production de PCB en Amérique du Nord a été assurée par un seul fabricant: Monsanto. Le tableau 1 donne les détails de production et de distribution de ce produit, ainsi que de son élimination. Les chiffres pour l'exportation comprennent l'exportation au Canada qui, entre 1954 et 1975 s'élevait à 22 000 tonnes. Ce fut d'ailleurs la période d'activité commerciale la plus intense pour le PCB. À l'heure actuelle, il reste environ 16 000 tonnes de PCB en usage ou en stock au Canada (voir paragraphe 3.3).

Les techniques d'élimination, utilisées dans le passé aux États-Unis, étaient des techniques normales et acceptées par l'industrie. Les PCB étaient incinérés comme déchets industriels (probablement pour en extraire le chlore), comme huile usée que l'on brûlait par la suite pour ses qualités calorifiques ou comme éléments de déchets solides ordinaires. Les PCB faisant partie de déchets provenant de la fabrication de condensateurs et de transformateurs d'équipements électriques désuets ou des déchets d'huile, de plastiques ou de papiers étaient envoyés aux dépotoirs.

Les PCB qui sont encore dans l'environnement représentent environ 68 000 tonnes. De cette quantité, un peu moins de la moitié se retrouve dans l'atmosphère. Autrement dit, cela laisse penser à un échange rapide entre les dépôts terrestres et aquatiques et l'atmosphère. On pense d'ailleurs que la pollution des lacs et des régions éloignées par les PCB contenus dans l'atmosphère est importante.

À l'avenir, la destruction des PCB portera surtout sur les 345 000 tonnes que renferment les équipements électriques. Certains programmes de destruction de PCB seront lancés dans les vieux dépotoirs de produits chimiques, dont le niveau de contamination est le plus élevé, dans toute l'Amérique du Nord, sans pour cela devoir atteindre une grande échelle. Les États-Unis

TABLEAU 1
Production et distribution de PCB aux É.-U.*

		(tonne x 10)	
Utilisation: (totale)	Transformateurs	150	
	Condensateurs	290	
	Plastifiants	52	570 ont été utilisés aux É.-U. avant l'entrée en vigueur des contrôles
	Liquides hydrauliques et lubrifiants	36	
	Papier photocopie sans carbone	20	
	Produits industriels divers	12	
	Fluides de transfert de chaleur	9	
	Additifs à base de pétrole	1	
Utilisation: (actuelle) (1975)	Transformateurs	136	
	Condensateurs	205	345 en usage suite à l'entrée en vigueur de la réglementation de contrôle
	Autres appareils électriques	4	
Elimination:	Biodégradation	14	
	Incinération	11	25 détruits
	Dépotoirs – Déchets des condensateurs et des transformateurs	50	
	Equipement électrique	36	199 dans l'environnement
	Papier, plastiques, etc.	45	
	À l'état libre dans l'environnement	68	

* EPA 1977

comptent déjà un certain nombre de dépotoirs de produits chimiques disposant de techniques de pointe. Ils sont homologués pour recevoir des déchets de PCB solides et liquides; on les appelle "Annex II landfills" (dépotoirs conformes à l'annexe 2).

Voici la liste des dépotoirs homologués arrêtée au mois de décembre 1981:

- Cecos
  Niagara Falls, N.Y.
- SCA Chemical Services
  Model city, N.Y.
- Waste Management of Alabama*
  Livingston, Alabama
- Cecos*
  Williamsburg, Ohio
- Casmalia Disposal
  Santa Barbara County, Californie
- U.S. Ecology
  Nye County, Nevada
- Chemical Nuclear Systems*
  Arlington, Oregon
- Wescon*
  Grand View, Idaho
- Chemical Waste Company
  Calaman Hills, Californie

3.3 Le PCB au Canada

La quantité de PCB utilisé au Canada avant l'entrée en vigueur de la réglementation de contrôle se situait à près de 35 000 tonnes. L'inventaire actuel a été établi à partir des données recueillies auprès des bureaux régionaux du Service de la protection de l'environnement d'Environnement Canada. La répartition par province est donnée dans le tableau 2 et l'utilisation totale pour le pays se répartit comme suit:

	Tonnes de PCB
Transformateurs	12 586
Condensateurs	2 191
Autres équipements électriques	15
Équipements non électriques	31
	14 823

Le stock de PCB, avant usage ou élimination, est détaillé au tableau 3. Ces stocks ne sont pas interdits par les règlements gouvernementaux. En outre, on retrouve une certaine quantité de PCB dans les entrepôts privés de deux compagnies spécialisées dans la gestion des déchets de PCB (voir tableau 4). L'imprécision des chiffres donnés est assez importante car les déchets de PCB ont été entreposés dans des réservoirs de stockage avec d'autres déchets. On estime cependant que la teneur en PCB se situe entre 50 p. cent et 70 p. cent. Enfin, la répartition de PCB par groupe d'industries est donnée au tableau 5.

Le rythme d'élimination des PCB au Canada dépendra de l'élimination des transformateurs, ce qui devrait nécessiter 45 ans au moins.

* Dépotoirs homologués pour recevoir des liquides contaminés par du PCB, dans une proportion de 50 à 500 ppm. Tous les autres ne sont homologués que pour recevoir des déchets solides, notamment des transformateurs vidangés, des condensateurs et de la terre, faiblement contaminés par du PCB.

TABLEAU 2
Quantité de PCB en usage dans les transformateurs et les condensateurs

Province	Type d'unité	Nombre d'unité	Quantité de PCB (kg)
Colombie-Britannique	Transformateurs	762	1 350 000
	Condensateurs	7 705	656 000
	Non électriques	193	30 800
Alberta	Transformateurs	828	324 000
	Condensateurs	6 361	46 000
	Électro-aimants	2	1 100
Saskatchewan	Transformateurs	199	204 000
	Condensateurs	1 988	14 500
Manitoba	Transformateurs	407	94 900
	Condensateurs	2 709	12 600
	Électro-aimants	4	1 800
Ontario	Transformateurs*	5 187	6 980 000
	Condensateurs	19 642	473 400
Québec	Transformateurs	1 793	2 980 000
	Condensateurs	62 937	875 000
	Electro-aimants	11	12 400
Nouveau-Brunswick	Transformateurs	–	319 000
	Condensateurs	–	52 500
Nouvelle-Écosse	Transformateurs	–	294 000
	Condensateurs	–	60 000
Île-du-Prince-Édouard	Transformateurs	–	11 500
	Condensateurs	–	150
Terre-Neuve	Aucun inventaire des PCB n'a été effectué pour la province de Terre-Neuve		
Territoires du Nord-Ouest	Transformateurs	21	8 900
	Condensateurs	152	800
Total			14 800 000 kg (chiffre arrondi)

* Comprend les électro-aimants

TABLEAU 3
Quantité de PCB en stock au Canada

Province	Produits en stock avant usage		Produits en stock avant élimination	
	Nombre d'unités	Quantité de PCB (kg)	Nombre d'unités	Quantité de PCB (kg)
Colombie-Britannique	–	–	–	21 800
Alberta	7	440	23	3 800
Saskatchewan	–	590	–	2 400
Manitoba	–	1 600	–	–
Ontario				
Québec	–	10 500	–	156 000
Nouveau-Brunswick		4 500		9 000
Nouvelle-Ecosse		19 500		24 000
Île-du-Prince-Édouard		–		1 350
Terre-Neuve	Pas d'inventaire			
Territoires du Nord-Ouest	2	90	9	2 100
Yukon	Inclus dans l'inventaire de la Colombie-Britannique			
Total partiel		37 220		220 450
Grand total				257 670

TABLEAU 4
Quantité de liquides contaminés au PCB dans les entrepôts privés

Nom et emplacement de l'installation	Quantité brute de PCB en stock (kg)
D & D Group, Smithville, Ontario	476 000
Kinetic Environmental Transport Systems, Sherwood Park, Alberta	341 000
Autres entrepôts	476 000
Total	1 293 000*

* La teneur en PCB des liquides ne devrait pas être supérieure à 70 p. cent, et approche plus vraisemblablement les 50 p. cent, ce qui représente entre 650 000 et 900 000 kg de PCB en stock. (Evans, G., renseignements personnels, 1981.)

TABLEAU 5
Inventaire du PCB au Canada, par industrie

Secteur industriel	Quantité en usage en tonnes	% du total
Services publics	3 703	25,1
Pâtes et papiers	2 670	18,1
Exploitation minière et fonderies	2 071	14,0
Raffineries (métal)	105	0,7
Fer et acier	1 705	11,5
Ciment	227	1,4
Usines chimiques	101	0,7
Industries de service	2 601	17,7
Pétrole	128	0,9
Autres	1 469	9,9
Total	14 780	100,0

(SPE, 1980-81)

4 PROCÉDÉS DE DESTRUCTION

4.1 Généralités

Les procédés de destruction analysés dans cette partie ont été subdivisés comme suit:

- procédés d'incinération classiques;
- nouveaux procédés d'incinération;
- procédés chimiques;
- procédés physico-chimiques.

La division entre les trois premières catégories est quelque peu artificielle; cependant, à l'analyse, elle présente certains avantages. Pour chaque catégorie, nous avons décrit un certain nombre de procédés.

4.2 Procédés d'incinération classiques

La méthode d'incinération classique repose sur l'oxydation à haute température des déchets et sur leur transformation en oxydes inoffensifs (CO_2, H_2O) et en résidus inorganiques qui ne risquent pas d'avoir d'effets néfastes sur l'environnement. Ce procédé permet d'exposer les déchets à une atmosphère oxydante à haute température de telle sorte que la principale qualité du système est de brûler le combustible avec une grande efficacité. C'est, de façon classique, l'air et les hydrocarbures qui servent à la combustion, bien que les déchets puissent également servir à la combustion à condition qu'ils ne dégradent pas les conditions oxydantes de la haute température.

La méthode d'incinération classique des PCB produit de l'acide chlorhydrique et divers oxydes. Ce composé gazeux acide doit être retiré des gaz de combustion avant d'être relâché dans l'atmosphère. Les solides qui sont traités par la méthode d'incinération classique sont complètement oxydés et ne laissent généralement que des cendres inorganiques.

L'incinération est une technique au point qui a été utilisée dans de nombreux programmes de gestion des déchets. À ce titre, elle fut la technique retenue par les législateurs qui ont établi les lignes directrices pour détruire les PCB. Certaines conditions minimales d'exploitation ont été énoncées pour la destruction des PCB:

- temps de séjour de 2 secondes à 1200 °C et excès de 3 p. cent d'oxygène;
- temps de séjour de 1,5 seconde à 1600 °C et excès de 2 p. cent d'oxygène.

Ces conditions doivent régner dans la chambre à combustion centrale. Cette chambre est entourée d'un certain nombre d'éléments auxiliaires, à savoir:

- système de manutention et de préparation pour l'alimentation;
- chargement;
- retrait des déchets;
- épuration des gaz;
- élimination des effluents.

Cette partie traitant des méthodes d'incinération classiques portera donc sur:

- les incinérateurs de déchets;
- les procédés par co-traitement mixtes;
- l'incinération à bord des navires.

Tous les éléments de l'incinérateur à déchets sont facilement identifiables. Dans le cas du procédé par co-traitement, on bénéficie d'une technique où les conditions idéales de temps,

de température et de teneur en oxygène permettent de détruire les PCB en même temps que les autres produits pour lesquels le système a été conçu à l'origine (exemple: fours à ciment). Dans ce cas, il est difficile d'isoler les éléments faisant partie du procédé industriel et ceux qui servent exclusivement à la destruction du PCB.

Le cas de l'incinération à bord des navires étant particulier, ce procédé mérite d'être classé à part.

4.2.1 Incinérateurs de déchets

4.2.1.1 Rollins Environmental Services Inc.

Siège social: One Rollins Plaza
Wilmington, Delaware 19899

Usines: Deer Park, Texas
Bridgeport, New Jersey
Baton Rouge, Louisiane

Responsable: Richard S. Sernyak
(302) 429-2768

Les trois incinérateurs Rollins sont de même conception bien qu'ils en soient à divers stades du processus d'homologation. Cet incinérateur est représenté à la figure 1. Les déchets solides, stockés dans des fûts de fibre ou dans des fûts métalliques de 0,2 m^3 sont chargés dans un four rotatif. Les déchets liquides peuvent être directement chargés au niveau de la chambre à combustion. La combustion est assurée par une chaudière Loddby mesurant 1,6 m de diamètre sur 4,9 m de longueur. Du gaz naturel ou du mazout n° 2 assurent l'allumage, le préchauffage et la stabilité de la flamme. De l'air comprimé sert à atomiser les liquides et à assurer la combustion en provoquant un courant circulaire dans la zone de combustion où les températures atteignent 1500 °C. Vient ensuite une section de post-combustion, de 4 m × 4,3 m × 10,6 m, où la température est de 1300 °C. Le temps de séjour, après le four, est de 2 à 3 secondes.

Les gaz de combustion passent dans un épurateur à venturi combiné à une tour d'absorption à l'intérieur desquels ils sont séparés des gaz acides et des particules. De l'eau d'épuration, mélangée à de la chaux, est injectée en amont du venturi; cette eau est recyclée, dans une proportion de 2/3, avec de l'eau prélevée dans les puits. Les ventilateurs de tirage induit ont pour fonction de forcer l'évacuation des gaz dans l'atmosphère.

Les systèmes Rollins sont conçus pour permettre le traitement de déchets liquides et solides se présentant sous diverses formes. Les solides ou les boues légèrement contaminés sont chargés dans des fûts en fibre; les solides très contaminés quant à eux (comme les condensateurs), sont pré-broyés. On a prévu des rythmes d'alimentation pouvant atteindre 2300 kg/h pour les PCB liquides et 6 fûts de 0,2 m^3/h. Bien que les comptes rendus sur l'efficacité de la destruction varient, on a pu constater un rendement destructif des PCB liquides supérieur à 99,9999 p. cent; il en était de même pour les PCB dans les condensateurs que l'on pré-broyait. Ces systèmes d'incinération ont une taille importante et ne sont donc pas mobiles.

L'expérience de Rollins dans le domaine de l'incinération remonte à 32 ans et la compagnie a passé les six dernières années au moins à traiter du PCB. L'incinérateur de Deer Park a été évalué à la satisfaction de l'EPA et il est à présent homologué pour brûler des PCB liquides.

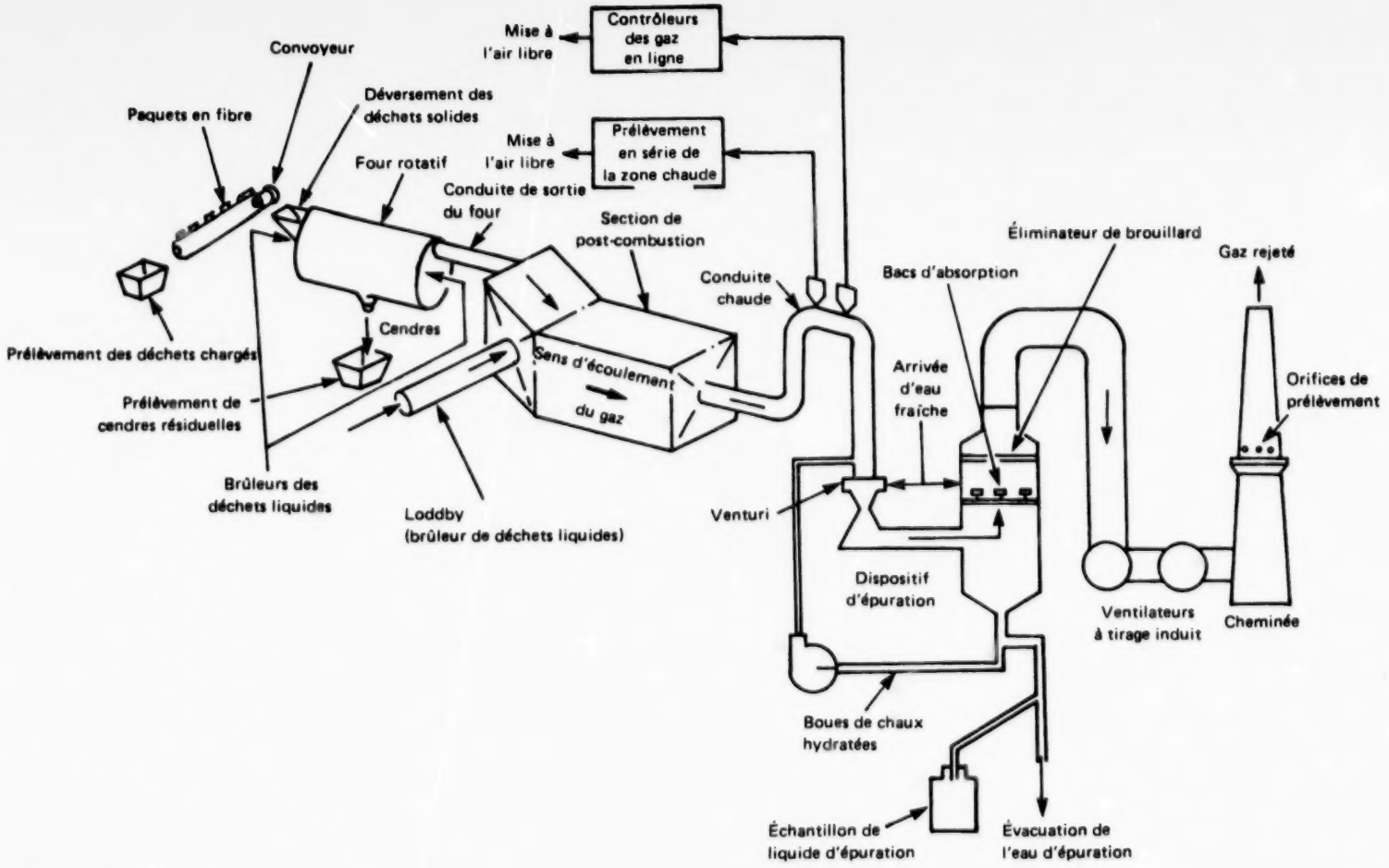


Figure 1 Schéma de l'incinérateur de Rollins Environmental Services (EPRI, 1979)

L'incinérateur Rollins est techniquement au point; il comprend une instrumentation de contrôle des gaz dans la cheminée ainsi que des mécanismes de couplage qui interrompent l'alimentation en PCB, sur demande, conformément aux règlements régissant la destruction du PCB.

L'immobilisation en capital nécessaire, à l'exception de l'achat d'un terrain d'environ 30 hectares (75 acres), devrait s'élever à environ $25 000 000 au mois de janvier 1982. Le four rotatif, le système d'épuration et le dispositif de traitement des eaux usées constituent la majeure partie de cette dépense. Ces coûts tiennent également compte d'un système de broyage des condensateurs contaminés par les PCB et d'alimentation, des réservoirs de stockage et des pompes d'alimentation de PCB liquide, de même que d'une section de post-combustion en aval du four rotatif et des installations d'extinction et d'entreposage de la chaux.

> "Le coût annuel d'exploitation d'une telle usine devrait s'élever à environ $8 700 000. Il faudrait augmenter cette somme à $14 075 000 pour tenir compte du coût en capital, de l'amortissement de l'usine, des taxes et des assurances. Le chiffre de $14 075 000 peut être réparti comme suit:
>
> | | |
> |---|---|
> | Frais d'exploitation et d'administration | $8 700 000 |
> | Amortissement (20 ans, direct) | 1 250 000 |
> | Intérêt, à 16,5 p. cent | 4 125 000 |
> | | $14 075 000 |
>
> Si l'on s'en tient à un rythme d'alimentation de 4260 kg/h, le prix de revient du kg de produit détruit serait de $0.44".

Pour calculer ces coûts, on a retenu l'hypothèse que l'usine fonctionnerait 310 jours par an, grâce au travail par équipes moyennant quatre postes, 7 jours par semaine, avec des opérations de réception et d'entreposage réparties sur une semaine normale de 40 heures.

On peut déjà se procurer les éléments de l'ensemble Rollins, certains plus facilement que d'autres. Des composants, comme le four par exemple, la section de post-combustion et les pièces du dispositif d'épuration devront être fabriqués (conformément aux critères de conception Rollins), car on ne les trouve pas forcément dans le commerce.

L'EPA a fait le point sur les retombées que cette technique pourrait avoir sur la santé après constatation de la présence de petites quantités de dioxynes et de dibenzofurannes dans les produits d'incinération. L'agence a établi une limite supérieure de risques à partir des pires hypothèses envisagées; puis, elle a retenu environ 10 hypothèses improbables pour établir le calcul qui a donné moins de un cancer de plus par 50 000 personnes exposées. Cela représente une retombée qualifiée d'extrêmement faible.

La présence de PCB dans ces incinérateurs ne pose pas de problèmes particuliers pour la sécurité des travailleurs à condition que les précautions habituelles dans la manutention des produits dangereux soient respectées. Le système d'incinération Rollins a fait l'objet d'un examen soigneux par les législateurs américains et a plus que dépassé tous leurs critères. Références: (Ackerman et coll., 1981; Gregory, 1981; Rollins Environment Services, 1981; EPRI, 1979).

4.2.1.2 ENSCO Incorporated

Siège social: 1015 Louisiana St.
Little Rock, Arkansas 72202

Usine: Eldorado, Arkansas

Responsable: Charles Robertson
(501) 375-8444

L'incinérateur ENSCO, construit sur l'emplacement d'une raffinerie de pétrole abandonnée, utilise les chaudières de la centrale thermique comme chambres de combustion et de post-combustion. Cet incinérateur est présenté à la figure 2. Les déchets en fûts (condensateurs) sont déversés dans un broyeur totalement hermétique. Les déchets broyés tombent dans une sorte d'entonnoir débouchant sur une vis sans fin qui amène les solides dans le four rotatif. Les déchets de PCB liquide sont mélangés avec les solides broyés ou sont directement injectés dans le four ou dans la chambre à combustion. L'air à l'intérieur du broyeur est aspiré par un ventilateur et expulsé dans le four rotatif.

Le four rotatif mesure 2,1 m de diamètre sur 10,4 m de longueur, et il est légèrement incliné au niveau d'un évacuateur de cendres où la plupart des résidus solides sont vidangés. L'air qui circule entre la double paroi du four passe par l'espace annulaire extérieur et l'enveloppe située entre le four rotatif et le système d'alimentation. Les gaz de carneau sont envoyés du four dans une chambre à combustion (85 m^3) où le comburant (le plus souvent des déchets organiques) est brûlé avec de l'air pour créer une zone de température élevée (température à la sortie 1250 °C). Une seconde chambre à combustion, de dimensions semblables, teint lieu de section de post-combustion (température à la sortie 1040 °C). Les produits de la combustion sont épurés dans une tour de vaporisation (combinaison de boue caustique et de chaux) avant de passer dans un éliminateur de brouillard et d'être évacués dans l'atmosphère.

Le système ENSCO est conçu pour être alimenté par des déchets solides et liquides; le four peut ne pas être utilisé dans le cas du traitement des déchets liquides. Le rythme normal d'alimentation de PCB est de 180 kg/h pour les PCB liquides (dont 81 p. cent en huile) et de 110 kg/h pour les PCB solides (dont 25 p. cent en condensateurs). Un supplément de combustible, à raison de 3000 kg/h, permet un apport thermique supplémentaire de 16 400 kW en moyenne. L'efficacité observée de la destruction du PCB a été de 99,99998 p. cent. Suite à d'autres essais menés en décembre 1981, le rythme d'alimentation en PCB sera augmenté à 8140 kg/h vers la mi-1982. Le système ENSCO décrit n'est pas mobile.

L'expérience d'ENSCO, bien que moins vaste que Rollins, est assez identique à celle de cette dernière compagnie en matière d'incinération des PCB. En effet, l'expérience de la compagnie dans la destruction des PCB remonte à six ans et a abouti à l'obtention d'un permis pour incinérer les PCB.

Tout comme dans le cas du système Rollins, la technique en question repose sur une application simple du four rotatif prolongé par une section de post-combustion. L'instrumentation et le mécanisme de couplage permettent de réduire le rythme d'alimentation en PCB en cas de non-respect des règlements établis pour la destruction des PCB, plus particulièrement en ce qui a trait à la température du four, à la température dans la section de post-combustion, au tirage dans le four et dans la section post-combustion et à la concentration en CO et en CO_2.

En janvier 1982, les coûts en capital devraient être de $5 340 000, dont la majeure partie est à rattacher au broyeur à marteaux et au sytème d'alimentation, au four rotatif, à la section post-combustion, au système d'épuration et aux installations de traitement des eaux usées. À cela il faut ajouter une dépense supplémentaire pour l'achat de 30 hectares de terrain. En outre, ces prévisions tiennent compte du coût de réception et d'entreposage des produits à

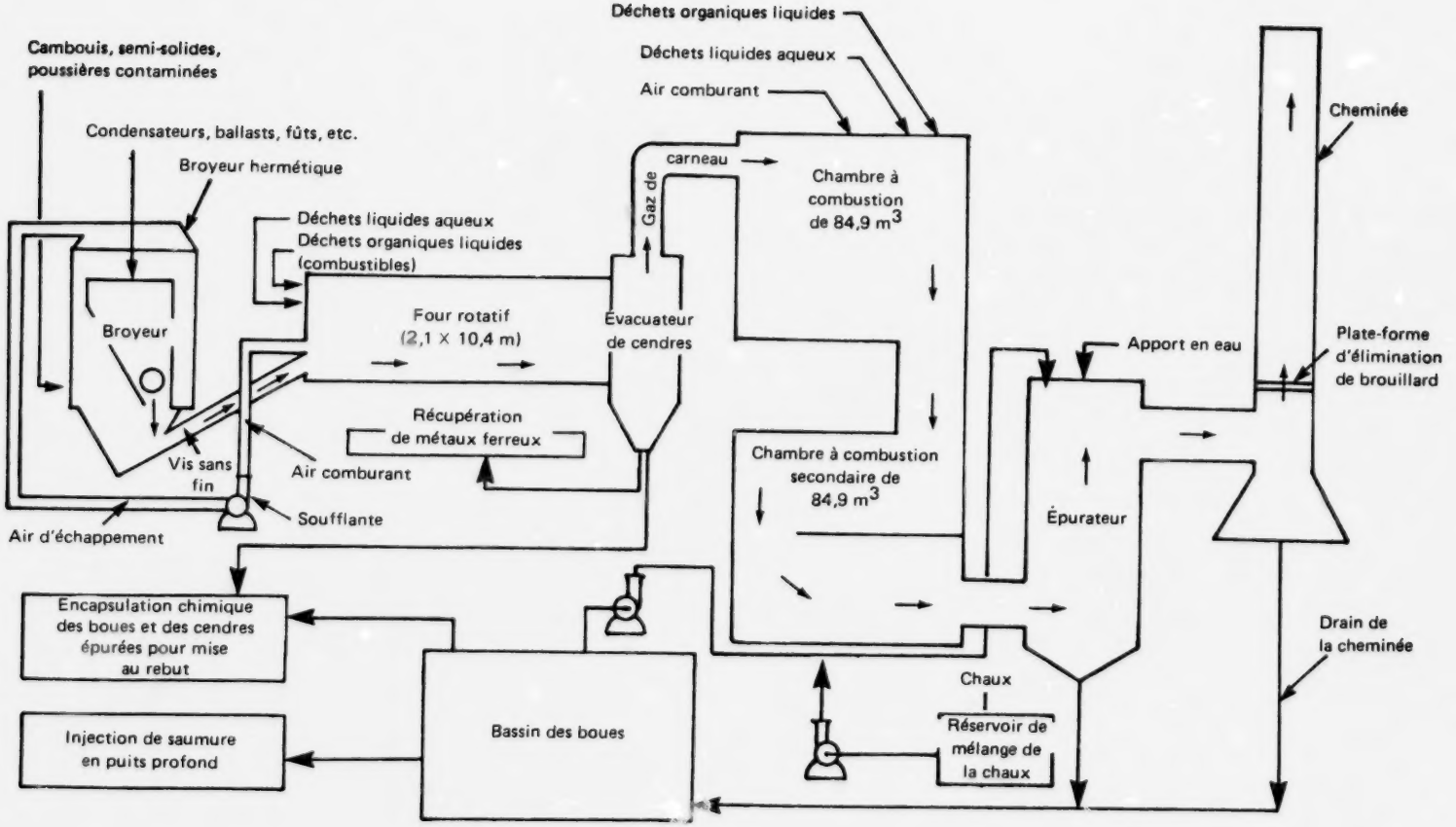


Figure 2 Schéma du système d'incinération Ensco (Ensco, 1981)

détruire, des installations de stockage et d'extinction de la chaux, des essais de brûlage et des coûts rattachés au financement en cours de construction.

Les coûts annuels d'exploitation devraient s'élever à $3 920 000 dont la main-d'oeuvre, les services et l'entretien forment la majeure partie. Le coût des assurances, les taxes, le coût en capital et l'amortissement de l'usine représenteraient $1 560 000 de plus. Ainsi, le prix de revient pour détruire 1 kg de condensateurs ou de liquides est d'environ $0.07. Voici les hypothèses de base retenues pour cette évaluation:

- travail par quatre équipes, sept jours par semaine;
- semaine normale de 40 heures pour les opérations de réception et d'entreposage;
- taux d'utilisation de l'usine de 85 p. cent.

Comme dans le cas du système Rollins, le système ENSCO est déjà disponible, mais, il faudrait un certain temps pour assurer la fabrication du four, de la section post-combustion et des autres éléments, conformément aux spécifications de ENSCO.

Les répercussions éventuelles de cette technique sur le plan de la santé, ont été évaluées par l'EPA. Pour ce qui est du système ENSCO, après observation d'émanations de dioxyne et de dibenzofuranne, le risque additionnel de cancer pour le public était de 1 par 2 500 000 personnes exposées, si l'on retient la pire des hypothèses. Le risque est très faible; cette technique ne modifie pas les risques que courent les travailleurs, par rapport à ceux qui sont associés à une manipulation, dans les règles, des matières dangereuses.

Le système ENSCO a été homologué par l'EPA après un examen soigneux semblable en tout point à celui du système Rollins. Références: Ackerman et coll., 1981; ENSCO, 1981; EPRI, 1979.

4.2.1.3 Incinérateur de déchets chimiques
Dow Chemical Company
Midland, Michigan 48640

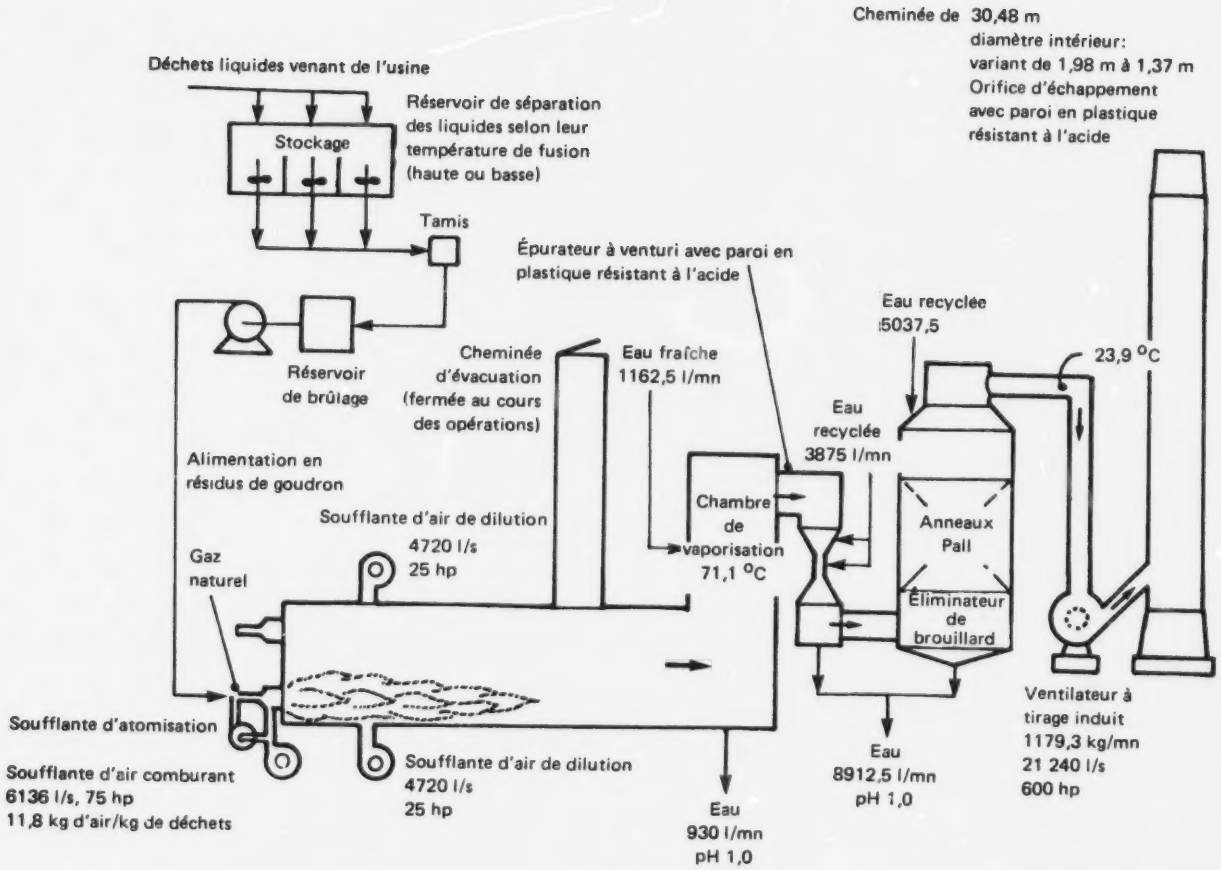
La destruction (par incinération) des déchets liquides provenant de la production de produits chimiques est souvent assurée sur place par l'usine elle-même. Parmi ces usines, nombreuses sont celles qui produisent des hydrocarbures chlorés nécessitant la même technique de traitement des produits de la combustion que les PCB.

Nous avons retenu le système Dow Chemical comme exemple de ces incinérateurs à déchets liquides, pour plusieurs raisons:

- aux États-Unis, Dow veut obtenir un permis pour brûler les déchets contaminés;
- Dow effectue déjà l'incinération de déchets liquides au Canada;
- les données sur l'incinérateur Dow à Midland, au Michigan, étaient disponibles.

Les déchets liquides sont mélangés (voir la figure 3) afin d'équilibrer leur valeur calorifique et leur viscosité avant de les brûler dans une chambre à combustion horizontale alimentée en air de dilution (atomisation de l'air). L'air comburant et l'air secondaire sont envoyés par une soufflante. La chambre à combustion a un volume d'environ 100 m^3. Les températures sont de l'ordre de 1100 à 1200 °C et les temps de séjour d'environ 2 secondes.

De l'eau fraîche sert à mouiller les gaz de carneau avant qu'ils ne passent dans un épurateur à venturi et dans un lit à garnissage. Dans cette section, l'eau usée de recirculation sert à épurer l'effluent. Enfin, les effluents sont aspirés par un ventilateur à tirage induit et évacués dans l'atmosphère par la cheminée.



Chargement (résidus de goudron): Mov. 38,75 l/mn;
30238 J/g,
Température 80 à 1000 °C,
Viscosité 150 SSU

Alimentation 5 lb/po^2,
4 brûleurs, injecteurs de goudron et de gaz combustion, orifice de 0,79 cm

Figure 3 Système d'incinération de déchets liquides à combustion horizontale (EPRI, 1979)

L'incinérateur Dow est conçu pour être alimenté en liquides à un débit normal de 32 kg/min. Les déchets de PCB testés dans ces unités étaient généralement des huiles ou des fluides contaminés. Un combustible d'appoint, dans le cas du gaz naturel, sert à préchauffer l'ensemble et à fournir l'apport calorifique supplémentaire nécessaire. Les produits résiduels du procédé sont du CO_2 et l'H_2O dans les effluents de la cheminée et de l'acide chlorhydrique dans l'eau usée d'épuration. L'eau d'épuration serait traitée sur place, dans la plupart des usines chimiques, avant d'être évacuée.

Dow brûle des déchets chimiques en appliquant cette méthode d'incinération depuis quelque temps déjà. Il ne fait aucun doute qu'il est possible de brûler des PCB de cette manière à condition de mélanger le PCB liquide à un combustible et d'apporter certaines modifications aux systèmes existants d'épuration et d'eaux usées.

Bien que ce système ne soit conçu que pour brûler des liquides, il est possible de l'alimenter en condensateurs broyés sous la forme de poussière.

Afin d'illustrer l'efficacité de cette méthode de destruction, nous nous référerons à un incinérateur semblable que possède General Electric à Pittsfield, au Massachusetts. À l'occasion de quelques essais, l'huile usée contenant 1,7 p. cent de PCB a été chargée à raison de 2 à 3 kg/min dans l'incinérateur fonctionnant d'abord à 871 °C, puis à 982 °C. L'efficacité de destruction du PCB était d'environ 99,99 à 99,999 p. cent.

L'incinération de déchets est une technique au point. Aux États-Unis, on compte plus de 200 incinérateurs à injection liquide dans les services d'élimination des déchets dangereux semblables à celui que nous avons décrit ci-dessus, dont la plupart fonctionnent en aval d'une usine de produits chimiques. (On trouve aussi quelques installations commerciales de destruction de déchets; on en compte une douzaine environ.) Il semblerait qu'il existe aux États-Unis 50 à 60 compagnies fabriquant des incinérateurs de déchets bien que 30 à peine aient déjà vendu leurs produits.

Toutes les variantes semble[illegible] axées sur une même technique de brûlage des déchets dans une chambre à combustion; la technique d'épuration en aval, quant à elle, semble être standard.

Les trois autres systèmes auxquels on se réfère souvent sont les suivants:

- l'incinérateur à injection liquide et à mise à feu verticale de Prenco;
- le brûleur Vortex;
- le brûleur Sudden Expansion (SUE®) de la compagnie Marquardt.

Prenco est représentatif de ces compagnies. Bien qu'elle fasse état d'une expérience de 30 ans en matière d'incinération de déchets, elle n'a encore vendu aucune de ses unités pour le traitement du PCB.

Dans le cas du brûleur Vortex, la combustion du combustible et des déchets est tangentielle et elle provoque donc un dégagement thermique plus rapide (1111 kW) que dans les autres systèmes.

Les coûts en capital sont basés sur le concept Dow et sur les débits d'alimentation. Ils se composent des coûts de stockage et d'alimentation des PCB liquides et de traitement des gaz d'évacuation et des eaux d'épuration. Les coûts de l'incinérateur, du terrain et du laboratoire ne sont pas inclus. Le système actuel pourrait être modifié pour permettre la destruction de PCB à un coût en capital de $1 630 000.

Il faudrait $2 930 000 par an pour exploiter une telle usine. Cette somme englobe les coûts en capital, les coûts d'entretien et de service. Le liquide rajouté au mélange, comme le kérosène, représenterait la plus grosse dépense. Nous n'avons pas inclus les coûts de la

main-d'oeuvre étant donné que du personnel fait déjà tourner l'usine pour brûler d'autres déchets liquides. Le prix de revient du traitement du PCB liquide serait de $0.22 par kilogramme.

L'équipement nécessaire pour modifier une unité déjà en place, afin de pouvoir brûler des PCB, est existant. Il faudrait cependant tenir compte d'un facteur important, celui du terrain, puisqu'un bassin et d'autres installations de traitement des eaux s'imposent.

Les retombées de cette technique sur le plan de la santé sont minimes. La nature localisée des opérations présente un avantage en réduisant les risques que pose normalement le déplacement des déchets. Qui plus est, les incinérateurs sont souvent exploités par des techniciens expérimentés faisant partie du personnel d'une usine de production chimique qui peut leur apporter le soutien technique nécessaire à des opérations efficaces. Pour le public, les retombées sont minimes étant donné l'emplacement des usines; quant aux travailleurs, leur santé et leur sécurité sont généralement bien protégées.

Les législateurs américains ont à présent homologué la destruction par incinérateurs de PCB, au niveau de l'usine ou à une échelle commerciale. Le tableau 6 donne d'ailleurs un répertoire des emplacements homologués aux É.-U. On notera que, si une majorité de ces installations traite des huiles contaminées, celle de la General Electric de Pittsfield (Massachusetts) évalue la possibilité de traiter des concentrés. Grâce à une législation définitive, maintenant en place, on peut s'attendre à ce que le nombre d'installations d'incinération des fluides contaminés par le PCB augmente de façon importante. Références: Opplet, 1981; M.M. Dillon Ltd., 1981; Epri, 1979; Gregory, 1981; EPA, 1981.

4.2.2 Procédés de co-traitement

La deuxième grande catégorie de procédés classiques d'incinération est constituée par les procédés ayant à l'origine une fonction autre que l'incinération. Ces procédés permettent la destruction des PCB en cours de fonctionnement normal et portent le nom de procédés de co-traitement. Ils sont dérivés de procédés à combustion classique, notamment:

- les chaudières à haut rendement chauffées au charbon, au mazout ou au gaz naturel;
- les fours pour la production de ciment ou de chaux;
- les fourneaux de fusion de l'aluminium.

Les déchets comportant des PCB sont en général sous forme liquide et sont introduits dans le système à très faible débit par rapport au débit de combustible, de façon à ce que la teneur du combustible en PCB soit très faible. La réglementation américaine prévoit des clauses spéciales moins strictes pour l'huile ayant une teneur inférieure à 500 ppm de PCB; la combustion de matières si faiblement contaminées est donc rapidement approuvée.

4.2.2.1 Chaudières à haut rendement

Les chaudières à haut rendement chauffées au charbon, au mazout ou au gaz naturel sont conçues pour extraire le maximum d'énergie du combustible. Ces systèmes sont conçus pour la production de vapeur destinée à une centrale thermoélectrique ou au chauffage. Un grand nombre de demandes d'homologation ont été présentées aux États-Unis en particulier pour la destruction des huiles légèrement contaminées aux PCB. Les règlements américains portant sur la combustion des huiles ayant une teneur maximale de 500 ppm de PCB sont peu strictes; pour qu'une demande soit approuvée, il suffit de démontrer:

- que le dégagement thermique de la chaudière dépasse 15 119 kW;
- que la teneur en CO des fumées se dégageant de la cheminée est inférieure à 50 ppm pour l'huile ou le gaz et inférieure à 100 ppm pour le charbon;

TABLEAU 6
Installations homologuées pour la destruction de PCB dans les incinérateurs de déchets chimiques*

Compagnie	Emplacement	Déchets/Stade de développement
General Electric	Waterford, New York	Homologuée pour la destruction de ses propres déchets d'huile contaminée aux PCB
General Electric	Pittsfield, Massachusetts	Homologuée pour le traitement de fluides ayant une teneur en PCB pouvant atteindre 500 ppm. Étude de l'essai de traitement de l'huile contenant 20 p. cent de PCB
Dow Chemical	Freeport, Texas	Homologuée, déchets de traitement contaminés
Dow Chemical	Plaquemine, Louisiane	Audiences publiques (dernière étape du processus d'homologation), déchets de traitement contaminés
Dow Chemical	Oyster Creek, Texas	Essais terminés, résultats en cours d'analyse, déchets de traitement contaminés
Volcan Material Company	Geismar, Louisiane	Essais en cours sur les déchets de traitements contaminés
Diamond Shamrock	Pasadena, Texas	Essais terminés (résultats en cours d'analyse) sur les déchets de traitement contaminés
Merlin Associates, Envirocycle (Genstar)	Chicago Heights, Illinois	L'incinérateur de déchets liquides est en cours de construction pour le traitement d'huile contaminée aux PCB. Les essais suivront la construction

*Liste arrêtée au mois de décembre 1981.

- qu'il y a un surplus d'oxygène de 3 p. cent;
- que les gaz dégagés, le débit d'alimentation et le contrôle du rendement sont conformes aux normes établies.

Ces restrictions ne devraient pas limiter l'emploi du procédé à la seule combustion des huiles contaminées aux PCB. Des études menées par Ontario Hydro et EPRI permettent de démontrer qu'il est possible de brûler des PCB en forte concentration à condition d'observer certaines limites pour le débit d'alimentation.

Le procédé d'incinération est de conception simple. Les liquides contaminés aux PCB, tels que les huiles, les liquides aux PCB purs ou les liquides aux PCB dilués avec du mazout sont introduits directement dans la zone de combustion de la chaudière. Des dispositifs de couplage appropriés reliés aux commandes de la chaudière contrôlent le débit d'alimentation des PCB. En général, le chlore contenu dans les PCB impose une limite au débit d'alimentation à cause des risques de corrosion à l'intérieur de la chaudière. On n'utilise donc pas l'épuration du gaz HCl qui se dégage. Les émanations de HCl sont d'habitude conformes aux limites fixées par le règlement grâce à la dilution. Le choix du type de chaudière pour l'incinération des PCB dépend des facteurs généraux suivants:

- configuration du brûleur de chaudière;
- types de combustibles;
- temps de séjour.

Les chaudières équipées de brûleurs opposés à plat procurent en général une combustion à turbulence plus complète que les chaudières à brûleurs tangentiels. Il est plus probable que les chaudières chauffées au charbon soient fabriquées en matériaux capables de résister au HCl étant donné que le charbon contient de légères quantités de chlore (sous forme de chlorure) que l'on ne retrouve ni dans les huiles ni dans le gaz naturel. Les temps de séjour dans les chaudières à haut rendement se situent entre 1 et 3,7 secondes pour des températures de combustion de l'ordre de 1430 à 1675 °C. Même si ces conditions correspondent de très près aux conditions de combustion recommandées, il faut veiller à ce qu'il ne se produise pas de cheminements préférentiels ni de déviations.

Seule la combustion des déchets liquides de PCB a été observée; néanmoins, l'étude EPRI a porté sur la combustion de matières solides broyées. Le débit d'alimentation suggéré varie de 150 kg/h (Ontario Hydro) à 300 kg/h (étude EPRI). Dans le système EPRI, l'alimentation en matières solides se fait au moyen d'un four rotatif. Les gaz qui se dégagent sont canalisés dans la zone de combustion de la chaudière. Cependant, il semble peu probable qu'un exploitant de chaudière à haut rendement choisisse la combustion de matières solides broyées.

Il est en général assez difficile de fixer les rendements de destruction, pour les raisons suivantes:

- la plupart des essais menés jusqu'à présent portaient sur les huiles légèrement contaminées où de petites quantités de PCB sont traitées;
- la détection de quantités encore plus petites de PCB dans des gaz chauds, chargés de poussière et contenant de grandes quantités de diluants gazeux devient une tâche extrêmement complexe.

Malgré ces réserves, le rendement de destruction annoncé est de l'ordre de 99 à 99,99 p. cent.

Les chaudières à haut rendement sont le fruit de techniques très avancées. L'introduction des déchets liquides de PCB est une opération relativement simple. Le système de contrôle

de la chaudière et l'interelation avec les systèmes d'alimentation en PCB pour l'interruption automatique de l'alimentation ne posent aucune difficulté.

Par rapport au mode de fonctionnement d'une chaudière à haut rendement, les systèmes d'alimentation en PCB ne sont pas complexes et peuvent être facilement confiés aux exploitants. Le système d'interruption automatique de l'alimentation, commandé par les paramètres fonctionnels, est un dispositif bien au point, qui permet l'arrêt de l'alimentation en PCB en cas d'anomalie (si la température de la chaudière ou l'efficacité de la combustion est trop faible). Ce système contrôle aussi le débit d'alimentation pour minimiser les émanations de HCl et les maintenir dans les limites réglementaires.

Les dépenses en immobilisation d'un système de pré-traitement par chaudière, y compris les coûts de construction étalés sur une période d'un an, mais excluant le coût des terrains, s'élèveraient à $1 140 000. Ce type d'installation serait en mesure d'effectuer la destruction de 260 kg/h de PCB liquides à 50 p. cent de concentration, ainsi que 130 kg/h de condensateurs broyés. Le dégagement total de chaleur du système de pré-traitement serait de l'ordre de $2,4 \times 10^5$ Kcal/h. Un four rotatif servirait de chambre de combustion primaire pour séparer les PCB des solides broyés et pour volatiliser les PCB liquides avant l'introduction dans la chaudière qui servirait donc de dispositif de post-combustion.

L'exploitation de ce type d'installation coûterait $775 000 par an, si l'on se base sur un taux d'utilisation de 85 p. cent. Ce chiffre comprend les dépenses en immobilisation, en main-d'oeuvre et en entretien. Le prix de revient serait donc de $0.26 par kg de PCB détruits.

Après avoir choisi le type de chaudière à haut rendement capable d'effectuer la destruction des PCB, l'acquisition des systèmes auxiliaires de pré-combustion ne pose pas de difficulté.

Les répercussions que peut avoir ce type d'incinération sur l'environnement devraient être négligeables lorsque le système est convenablement exploité et que les mécanismes de couplage fonctionnent comme prévu. Il est à noter que les propriétaires et exploitants de chaudières pour la production thermoélectrique sont aussi les principaux détenteurs de matières contaminées aux PCB; ainsi, toute décision de leur part pour entreprendre la destruction des PCB dans leur propre chaudière doit être encouragée.

Les organismes de réglementation ont homologué un certain nombre de chaudières à haut rendement aux États-Unis. L'homologation d'autres systèmes est à l'étude. Le tableau 7 résume l'état actuel de la situation en ce qui concerne l'incinération par chaudière à haut rendement. Références: EPRI, 1979; Ackerman et coll., 1981; EPA, 1981.

4.2.2.2 Fours à ciment

Siège social: St. Lawrence Cement Company
Lakeshore Road
Mississauga, Ontario

Responsable: L.P. MacDonald
(416) 822-1653

La production de ciment nécessite le calcinage de matières premières comptant du calcium, du silicium, de l'aluminium et du fer pour former les silicates de calcium, les aluminates et les alumino-ferrites qui constituent le ciment non broyé. Aux usines St. Lawrence, le calcinage se fait dans un four rotatif de 3,5 m de diamètre et de 123 m de long (voir figure 4). Les matières

TABLEAU 7
Destruction des PCB dans les chaudières à haut rendement

Société	Type de déchets aux PCB	Combustible de chaudière	Stade de développement
Ontario Hydro	Liquides PCB + eau de rinçage	Charbon	Concept
Florida Light and Power	Askarel (60-100 % PCB) à 0,05 % du débit d'alimentation en combustible	Mazout	Mis à l'essai, rendement > 99,9997 %
Continental Can, Hopewell, VA	Huile contaminée aux PCB	Mazout	Mis à l'essai, en exploitation
General Motors, Bay City, MI	Liquides contaminés aux PCB	Mazout	Mis à l'essai, en exploitation
Tennessee Eastman	Liquides contaminés aux PCB	Charbon	Mis à l'essai, en exploitation
North East Utilities, Hartford, CT (Middletown)	Huile contaminée aux PCB	Mazout	Mis à l'essai
Washington Water and Power Company	Huiles minérales contaminées aux PCB		Essai prévu décembre 1981
Union Electric Co.	Fluide et solvant diélectriques contaminés aux PCB		Homologué mai 1981
Otter Trail Power Co.	Huile minérale contaminée aux PCB		Homologué avril 1981

TABLEAU 7 (suite)

Société	Type de déchets aux PCB	Combustible de chaudière	Stade de développement
Metro Sewers Cincinnati, OH	Huile usée contaminée aux PCB		Essai prévu
Illinois Power Co.	Huile minérale contaminée aux PCB		Mis à l'essai, difficultés administratives
TVA – Widow's Creek	Huile contaminée aux PCB	Charbon	Mis à l'essai, attente des résultats
Duke Power Riverbend Station	Huile contaminée aux PCB	Charbon	Mis à l'essai, attente des résultats
Pennsylvania Power and Light Montour Station	Huile de transformateur contaminée aux PCB	Charbon	Concept
Baltimore Gas and Electric	Huile usée contaminée aux PCB		Homologué
Potomac Electric and Power	Déchets contaminés aux PCB		Homologué
Power Authority of New York	Huile minérale contaminée aux PCB		Concept
Public Service Co. of New Hampshire	Huile minérale contaminée aux PCB		Homologué mars 1980

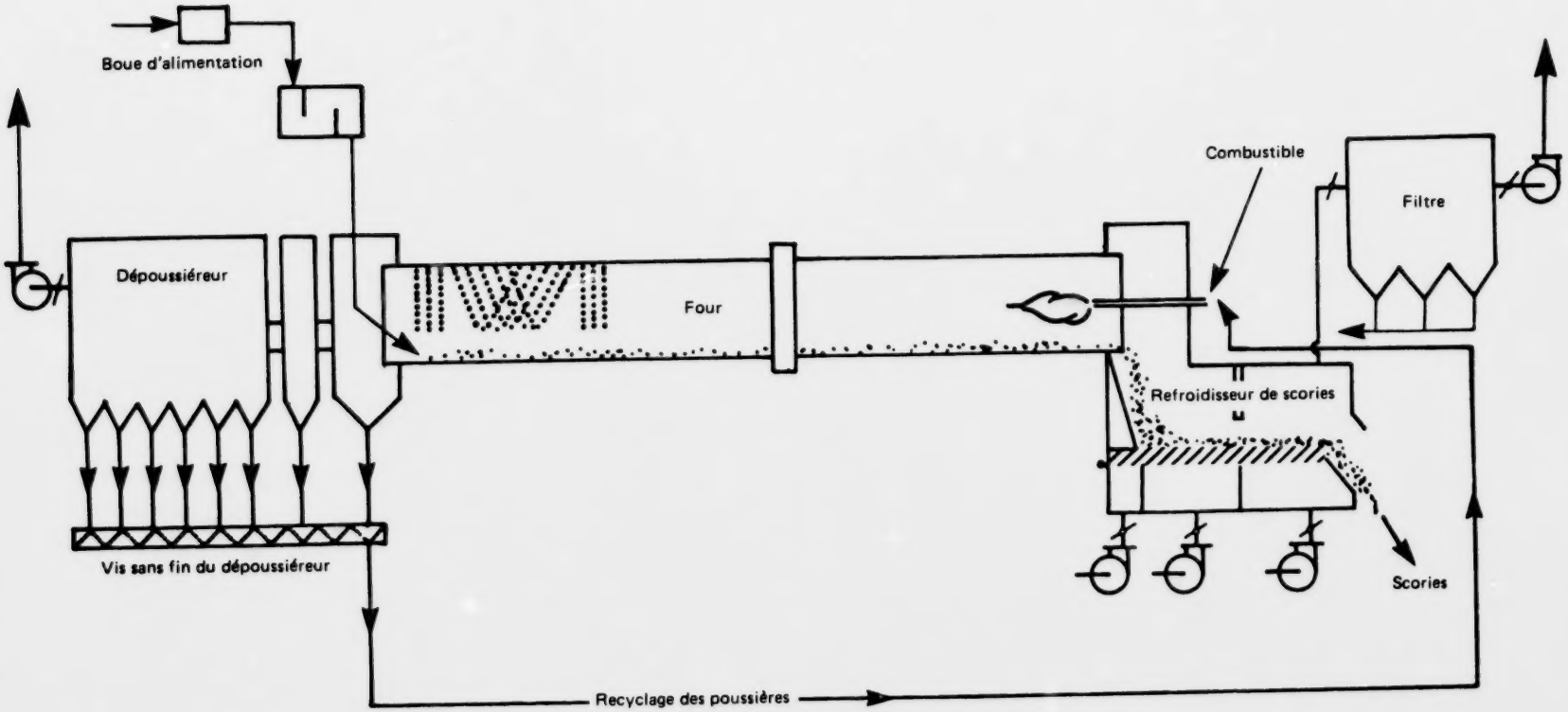


Figure 4 Four pour procédé par voie humide (St. Lawrence Cement Co.)

premières sont introduites dans le système sous forme de boue à laquelle on ajoute du mazout nº 6. Les températures maximales sont de l'ordre de 2100 °C avec des temps de séjour de 30 secondes. Les chlorures ainsi produits se combinent aux métaux alcalins des produits d'alimentation provenant du four rotatif et les volatilisent sous forme de chlorures métalliques.

Ainsi, les chlorures que renferment les déchets de PCB peuvent servir à la fabrication du ciment, étant donné qu'il faut se servir de chlorure sous une forme ou une autre pour contrôler la qualité du ciment.

Les paramètres du procédé utilisé aux installations St. Lawrence sont les suivants:

- vitesse d'alimentation des boues 1400 Mg/jour
- ciment non broyé produit 900 Mg/jour
- mazout nº 6 90 l/min
- hydrocarbures chlorés 5 à 10 l/min

Dans le cas des essais entrepris, l'alimentation s'est faite aux hydrocarbures chlorés contenant 55 p. cent de PCB. Un rendement destructif d'au moins 99,986 p. cent a été observé. Les sous-produits à l'état gazeux ou solide ne renfermaient aucune trace mesurable de PCB; on a cependant relevé la présence d'hydrocarbures chlorés à faible masse moléculaire (surtout du dichlorométhane). Le rendement destructif des PCB a été calculé en traitant le dichlorométhane comme étant du PCB.

EPRI fait la description d'un système à four rotatif pour le pré-traitement des déchets solides de PCB. L'interaction de ce système avec le four se fait de la même façon que dans le cas de la chaudière thermique.

Les dépenses en immobilisation d'un système de pré-traitement à four à ciment ayant un dégagement thermique de $6{,}5 \times 10^5$ kcal/h seraient de $1 600 000. Ce chiffre comprend les frais de construction étalés sur un an mais ne comprend pas les coûts des terrains. Le système serait en mesure de traiter des PCB liquides à raison de 710 kg/h avec des concentrations de 50 p. cent et des PCB solides à raison de 350 kg/h sous forme de condensateurs broyés. Ces chiffres ont été calculés en se servant d'un four rotatif comme chambre de combustion primaire. Les dépenses en immobilisation et les coûts d'exploitation sont basés sur les coûts de mise à jour présentés dans le document de EPRI intitulé Guidelines for Disposal by Thermal Technology (1979).

On peut s'attendre à des frais d'exploitation annuels de $1 140 000 en se basant sur une exploitation à 85 p. cent. Ainsi, le coût unitaire de destruction des PCB selon ce procédé serait de $0.14/kg.

Après avoir choisi un four à ciment capable de réaliser la destruction des PCB, comme d'ailleurs dans le cas des chaudières à haut rendement, l'acquisition de l'équipement de pré-combustion ne pose aucune difficulté.

La technique de fonctionnement du four à ciment est relativement bien au point. L'équipement de pré-traitement comprend le four rotatif, les broyeurs sous boîte et les pompes. Le fonctionnement de cet équipement ne présente pas de difficulté. Le système d'alimentation automatique dont le fonctionnement est tributaire des paramètres opérationnels (température de la fournaise, rendement de la combustion et émanations en HCl) est fiable sur le plan technique, comme d'ailleurs dans le cas des chaudières à haut rendement.

La destruction des PCB dans les fours à ciment comporte des risques minimes pour l'environnement. Les essais effectués à St. Lawrence ont démontré l'existence d'émanations de poussières qui pourraient être liée à la formation d'un cercle de matières agglomérées dans le four au cours de l'incinération des hydrocarbures chlorés. L'existence de ce problème ainsi que les

pressions exercées par le public pour exiger un meilleur contrôle des effluents et des systèmes d'interdiction de secours ont empêché le déroulement d'autres essais. Les ministères fédéral et provinciaux de l'environnement appuient l'adoption de l'incinération par four à ciment; il s'agit d'une méthode recommandée dans les lignes directrices établies par ces ministères en ce qui concerne la destruction des PCB. Références: MacDonald et coll., 1977.

4.2.2.3 Autres procédés d'incinération par four

Deux autres fours à ciment et deux fours à chaux ont fait l'objet d'évaluations pour la destruction des PCB.

Société	Type de four
Peerless Cement, Detroit, Michigan	ciment
Energy Optimization, Pittsburg, Pennsylvania	ciment et chaux
Continental Can, Hopewell, Virginia	chaux

La Peerless Cement Company a entrepris des essais d'incinération des PCB dans leurs installations de Detroit. Le temps de séjour s'élevait à 10 secondes à une température de 1270 à 1390 °C. Le rendement de destruction a dépassé en moyenne 99,99 p. cent. Cependant, compte tenu des pressions exercées par les communautés avoisinantes et l'opposition manifestée par les résidants de la rive canadienne à Windsor (Ontario), la compagnie a décidé d'abandonner son projet d'incinération des PCB.

La société Energy Optimization a formulé une demande adressée à la EPA des États-Unis pour l'incinération des PCB (huile contaminée) dans un four à ciment situé à proximité de la ville de Pittsburg. La demande est à l'étude. La même société avait précédemment formulé une demande pour obtenir l'autorisation de brûler des PCB dans un four à chaux à Branchton, en Pennsylvanie, mais a depuis abandonné ce projet.

Le four à chaux de Hopewell, en Virginie, appartenant à Continental Can, a été évalué en 1976 pour la destruction des PCB. Le four à chaux rotatif de 3,4 m de diamètre et de 80 m de long, fonctionnant à des températures de 1260 °C, avait une capacité de 226 Mg/jour. Diverses difficultés ont surgi en cours d'essai et la société n'a pas repris depuis 1976 les essais de destruction de PCB. Le rendement destructif était estimé à près de 95 p. cent. Références: Ackerman et coll., 1981; EPA, 1981.

4.2.2.4 Co-traitement par fourneau de fusion de l'aluminium

Siège social: Aluminium Company of America (ALCOA)
P.O. Box 3567
Davenport, Iowa 52808

Responsable: Marshall Sonksen
(319) 359-2754

La raffinerie d'aluminium d'ALCOA située près de Davenport, en Iowa (Riverdale), dispose d'un fourneau alimenté au gaz et au mazout qui a été homologué pour l'incinération des huiles contaminées aux PCB.

Suite à un essai qui s'est déroulé en juillet 1981, l'homologation a été accordée en novembre 1981. Avant l'introduction des PCB, il fallait préchauffer le fourneau à 1150 °C, maintenir l'excès d'oxygène à 3 p. cent et maintenir le rendement de la combustion à plus de 99,9 p. cent, la vérification devant être effectuée sur les émanations de CO. Le permis est limité aux 6 à 8 millions de litres d'huiles contaminées à raison de 350 mg/kg de PCP et recueillies par ALCOA avant la découverte de la contamination en PCB. Références: Sonksen, communication personnelle, 1982.

4.2.3 Incinération à bord des navires

4.2.3.1 MV Vulcanus

Siège social: Chemical Waste Management Inc.
2131 Kingston Court S.E.
Marietta, Georgia 30067

Responsable: Al McCoy, PCB Sales Supervisor
(404) 952-0444

Une autre méthode classique d'incinération est constituée par l'incinération à bord des navires en mer. Les déchets sont brûlés loin de tout centre de population, limitant ainsi les risques éventuels que présente ce type de traitement.

Le MV Vulcanus est un navire de 100 m par 14 m ayant un tirant maximal de 7,4 m. Le navire est équipé de deux incinérateurs à injection liquide à haute capacité capables de brûler des déchets contaminés aux PCB à raison de 22 Mg/h, la température maximale de la flamme étant située entre 1500 et 1600 °C. Le navire est muni de 15 réservoirs ayant une capacité totale de 3700 tonnes. Les déchets contaminés aux PCB sont chargés à bord en port. Le navire se dirige ensuite dans une région du Golfe du Mexique approuvée par la EPA où les déchets sont incinérés. Un système de contrôle perfectionné veille à ce que les PCB soient détruits à 99,995 p. cent.

Le Vulcanus n'est capable de brûler que des liquides pompables qui comportent des matières solides d'une dimension inférieure à 2 mm, quoiqu'à l'origine, le projet comportait un four rotatif destiné aux déchets solides. Une molécule de PCB ayant une teneur en chlore de 70 p. cent ne présente pas de difficulté à l'incinération. Il ne faut pas que les déchets de PCB puissent attaquer l'acier doux.

L'exploitation du Vulcanus donne des résultats satisfaisants depuis 1972 en Europe et aux États-Unis. De récents essais de la EPA ont révélé que le Vulcanus avait brûlé 2 650 000 litres de fluides de transformateurs contaminés aux PCB avec un rendement de 99,999 p. cent sans formation sensible de dioxines.

L'incinération en mer des déchets dangereux est pratiquée déjà depuis quelque temps en Europe. Il n'existe pas à l'heure actuelle de véritable expérience d'incinération courante de PCB liquides. On peut donc dire que cette technique est à mi-chemin de la mise au point opérationnelle. L'exploitation de ce procédé nécessiterait un niveau moyen de spécialisation technique.

Si l'on se basait sur les estimés fournis par E. . Oppelt pour 1981, l'établissement de telles installations nécessiterait un investissement d'au moins $7 000 000, sans compter les coûts des terrains réservés aux installations à terre.

L'exploitation d'un navire incinérateur nécessiterait un minimum de $6 020 000 par an y compris le montant en capital. Les principaux éléments des frais d'exploitation seraient les services, la main-d'oeuvre et l'entretien. Ce chiffre tient compte du fait que le procédé comporte

un incinérateur à four rotatif suivi d'un incinérateur à post-combustion par injection de liquide. L'alimentation se fait à raison de 6000 kg/h de PCB liquides ou de 3000 kg/h de PCB solides, l'exploitation se faisant à raison de 12 heures par jour et de sept jours par semaine. Le calcul des coûts d'exploitation s'est effectué par comparaison avec les coûts d'exploitation de l'incinérateur Rollins pour l'élimination en mer, selon un modèle conforme aux lignes directrices de EPRI pour l'élimination par la destruction thermique. Selon ce procédé, le coût de destruction d'un kilogramme de PCB liquides s'élèverait à $0.23.

Les répercussions du procédé Vulcanus sont comparables à celles des autres procédés d'incinération. Les risques pour les exploitants ou le public sont minimes à condition d'appliquer les mesures appropriées d'utilisation du procédé. Le fait que l'incinération ait lieu en mer diminue les répercussions que le procédé pourrait avoir sur terre sur les populations avoisinantes. Une série d'essais menés par la EPA ont démontré que l'incinération à bord d'un navire n'affecte pas la pêche ni la vie sous-marine.

La EPA a autorisé deux projets d'incinération à bord du navire Vulcanus tout en poursuivant ses essais et la surveillance des incinérateurs du Vulcanus. Le navire est prêt à entreprendre l'incinération sur base commerciale des déchets liquides de PCB dès la fin du programme d'essai. Références: Oppelt, 1981; Jordan, 1982; Chemical Waste Management Inc.

4.2.3.2 Autres types d'incinérateurs à bord de navires

Siège social: At-Sea Incineration Co. (ASI)
534 East Putnam Avenue
Greenwich, Connecticut 06830

Responsable: Barry S. Cogan
(203) 629-3711

La société At-Sea Incineration a l'intention de noliser deux navires équipés d'incinérateurs à injection liquide de $3{,}22 \times 10^8$ kW chacun (valeur nominale), afin d'effectuer l'incinération des déchets dangereux dans une région approuvée par la EPA à l'est de Cape Henlopen, au Delaware. La société ASI prévoit pouvoir exploiter les deux navires et les stations connexes de transfert terrestre au début de 1984. Références: Hazardous Materials Intelligence Report, 1982.

4.3 Nouveaux procédés d'incinération

On appelle nouveaux procédés d'incinération les procédés qui exploitent l'énergie thermique provenant de l'oxydation d'un combustible mais dont une caractéristique particulière les distingue des incinérateurs classiques qui brûlent un combustible dans l'air dans une zone de combustion simple. On distingue cinq types d'incinérateurs qu'on pourrait qualifier de procédés nouveaux:

- les incinérateurs à oxygène;
- les procédés des sels en fusion;
- les incinérateurs à lit en fusion;
- les procédés diesel.

Les incinérateurs à oxygène brûlent l'oxygène pur ou, du moins, de l'air enrichi pour favoriser l'oxydation du combustible. On atteint ainsi des températures élevées et on obtient de petites quantités de sous-produits qui doivent être par la suite épurées. Les procédés à lits en fusion procurent les mêmes effets tout en offrant une plus forte concentration d'oxygène par unité de volume. Les procédés à lit fluidisé se servent de solides fluidisés dans la zone de combustion

pour augmenter le transfert de chaleur aux déchets. On peut aussi se servir de catalyseurs sur les solides fluidisés. Quant aux procédés diesel, ils permettent la destruction des déchets au cours de la combustion dans un moteur diesel.

4.3.1 Incinérateurs à oxygène

Les procédés d'incinération qui se servent de l'oxygène comme agent oxydant du combustible présentent, par rapport à l'incinération à l'air, les avantages suivants:

- températures plus élevées que les incinérateurs classiques;
- plus petite quantité de sous-produits de la combustion.

La conception du brûleur et les matériaux qui entrent dans la construction des divers éléments présentent certaines difficultés pour lesquelles on élabore déjà certaines solutions. La manutention de l'oxygène pur nécessite certaines précautions spéciales et l'usage de l'air de dilution risque d'augmenter la consommation de produits chimiques au moment de l'épuration à cause de l'oxydation de l'azote.

4.3.1.1 Unité mobile de traitement des déchets dangereux de Pyro-Magnetics (MWP-6000)

Siège social: Pyro-Magnetics Corporation
200 Essex Street
P.O. Box 288
Whitman, Massachusetts, 02382

Responsable: D.M. Dyer
(617) 447-0448

L'unité mobile de traitement des déchets dangereux de la société Pyro-Magnetics (MWP-6000) constitue un système intégré de traitement des déchets dont l'unité de destruction centrale est un incinérateur à oxygène. L'incinérateur absorbe directement les déchets liquides ou effectue le traitement des gaz provenant d'un four rotatif ou d'une unité spéciale de traitement par fusion (Special Melting Treatment, SMT). L'unité SMT semble constituer le principal instrument de Pyro-Magnetics Corporation qui a su s'en servir avec efficacité dans le système intégré de traitement des déchets.

La configuration du procédé MWP-6000 est illustrée à la figure 5. Les déchets solides sont introduits dans le four rotatif ou dans l'unité SMT, dépendant de leur composition. L'alimentation par vis sans fin du four rotatif peut se faire après broyage ou en passant par un injecteur de boue. La température de fonctionnement du four, qui est chauffé à un mélange de combustible et d'air, s'élève à 980 °C. Les produits de combustion sont acheminés à l'unité de combustion secondaire de liquides (incinérateur à oxygène). Les cendres sont retirées par une trappe spécialement prévue.

Les matières solides introduites dans l'unité SMT sont soumises à la pyrolyse et fondues dans un bain de fer en fusion chauffé par induction et fonctionnant à une température de 1650 °C. Les produits siliceux sont retirés sous forme de scories. À l'intérieur de l'unité SMT, l'atmosphère est contrôlée afin de pouvoir surveiller la composition du bain et le volume des gaz provenant de la réaction qui sont canalisés à l'unité de combustion secondaire des liquides.

Les matières liquides sont injectées directement dans l'unité secondaire de combustion par deux brûleurs à oxygène. Un supplément d'air est fourni pour modérer la température de combustion et la ramener à près de 2200 °C. Au besoin, on peut mélanger les déchets liquides

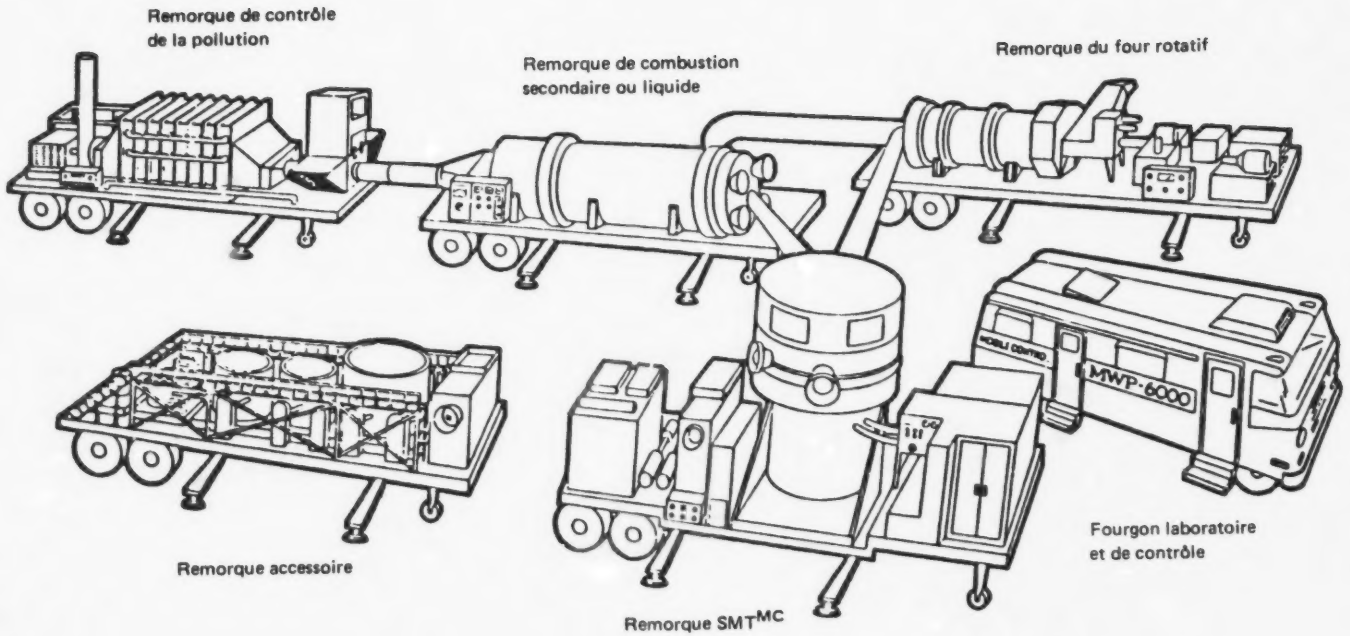


Figure 5 Unité mobile de traitement des déchets dangereux (Pyro-Magnetics Corp.)

comme les PCB avec le mazout pour préserver la chaleur et soutenir la température de fonctionnement. L'unité de combustion (0,8 m de diamètre et 2,4 m de long) est suivie d'une chambre de brûlage de 10,7 m où on prévoit un temps de séjour de 2 secondes avec une température de 1260 °C à la sortie.

L'épurateur des gaz de réaction est entraîné par un ventilateur à tirage induit qui maintient une pression négative dans l'ensemble du système. Les ouvertures étant reliées entre elles, on s'assure ainsi que l'unité de traitement fonctionne à pression négative afin d'éviter le dégagement de gaz nocifs. Un épurateur à chaux, doublé d'un filtre en carbone, assure le nettoyage des acides et des matières organiques contenues dans les gaz de carneau.

L'unité est en mesure de traiter 2700 kg/h de déchets solides et 0,6 m^3/h de PCB liquides (à 50 p. cent dans le mazout). La consommation d'oxygène de 3 kg/kg de PCB dépasse légèrement les exigences stoechiométriques. Le système nécessite une alimentation électrique de 1000 kW en mode SMT et rien que 100 kW pour le système liquide.

En théorie, le système MWP 6000 peut traiter divers types de déchets aux PCB. Le système d'alimentation multiple en matières solides et en matières liquides devrait donner au système la souplesse nécessaire pour traiter la plupart des déchets contaminés aux PCB. À l'occasion des essais menés à l'intention de l'EPA, en mars 1982 à Tullahoma, au Tennessee, on a atteint un rendement de destruction de 99,999 943 p. cent. Toutes les unités intégrées sont montées sur des remorques de 2,4 m × 14 m. L'ensemble MWP 6000 comprend aussi un fourgon laboratoire et une remorque pour l'entretien chimique.

Tel que nous l'avons mentionné plus haut, il semble que l'unité SMT constitue le principal atout technique de la société Pyro-Magnetics. L'association d'un procédé de traitement à haute température et à atmosphère contrôlée avec un dispositif de combustion à atmosphère contrôlée constitue une étape normale de développement. Le four rotatif complète de façon efficace le système de traitement des déchets. Il semble que les unités soient soumises l'une après l'autre au processus d'essai. Les laboratoires Arnolds de l'Université du Tennessee, à Tullahoma ont entrepris, en mars 1982, les essais du système de combustion liquide, selon les méthodes approuvées par l'EPA et avec des résultats très prometteurs.

Ce procédé de traitement n'a pas été entièrement mis à l'essai avec des déchets solides de PCB. Il faudrait étudier plus à fond la capacité du système de détruire de façon efficace les matières solides provenant de condensateurs broyés ou d'autres éléments, étant donné que le modèle original comportait un four rotatif situé en amont des dispositifs SMT, alors que la version plus récente du système ne comporte pas de four rotatif. Il semble que le système soit en mesure de détruire facilement les déchets liquides de PCB.

On estime le prix de revient pour la destruction des PCB selon cette technique à $5 U.S. par gallon de déchets à faible teneur, à $10 U.S. par gallon de déchets à teneur moyenne et à $15 U.S. par gallon de déchets à forte teneur. Ce chiffre comprend les frais de location de l'équipement imposé par l'entrepreneur ainsi que les coûts du mazout lourd et la consommation de courant électrique.

L'exploitation de cette technique nécessite aussi l'utilisation d'un terrain de 30 m par 30 m environ. Les coûts de capitalisation tiennent aussi compte de l'aménagement éventuel d'autres installations de traitement des effluents, comme un lagon.

L'équipement est disponible auprès de l'entrepreneur sur base d'un coût unitaire de matières détruites.

Si les plans de la société se réalisent, les répercussions sur le public seraient minimes. Les système MWP 6000 est un système essentiellement non polluant. Les effluents sont constitués

de matières inertes et de gaz inoffensifs. La mobilité du système permet de satisfaire aux exigences du public étant donné que la destruction des déchets se déroule sur les lieux mêmes de production de ces déchets. Les exploitants du système s'exposent aux mêmes risques que dans toute autre opération de traitement de déchets dangereux, risques qui sont d'ailleurs en général bien contrôlés.

Tel que nous l'avons souligné plus haut, le procédé MWP 6000 est soumis à l'heure actuelle aux essais fixés par l'EPA des États-Unis. Les opérations semblent se dérouler normalement; les essais du système de combustion à oxygène ont eu lieu en mars 1982. Le rendement de destruction est élevé. Références: M.M. Dillon Ltd., 1981, 1982, Pyro-Magnetics, 1981.

4.3.1.2 Procédé chimique au plasma

Siège social: SJT Consultants
2697 Steeles Avenue West
Toronto (Ontario)

Responsable: Dr. Stanley Townsend
(416) 661-2685

Le procédé est constitué par la combustion contrôlée de combustibles et de déchets liquides dans de l'oxygène pur de façon à maximiser la température de la zone de combustion. Ce procédé est dérivé du procédé magnétohydrodynamique (MHD). Le procédé MHD, mis au point par la société SJT, réalise la création de plasma à partir de l'énergie chimique de la combustion. On y atteint des températures supérieures à 5000 °C. Les réacteurs MHD ont été modifiés par l'adjonction d'équipement d'épuration au gaz. On réalise la neutralisation du HCl par injection de produits caustiques avec l'alimentation en déchets ou dans l'épurateur.

Il existe peu de renseignements sur ce procédé ou sur l'état du programme d'essai.

La société a l'intention de mettre au point une unité mobile afin de pouvoir entreprendre le traitement sur les lieux de production des déchets. Références: Townsend, 1982; Johnston, 1982.

4.3.2 Procédés des sels en fusion

Les procédés de traitement par sel en fusion réalisent l'oxydation des déchets de PCB avec le même résultat sur le plan de la réaction chimique que les procédés de combustion présentés précédemment, la différence étant que le procédé en question se déroule en phase condensée tout en maintenant une température relativement élevée. Les effets ainsi obtenus sont les suivants:

- les déchets sont en présence d'un produit oxydant plus concentré, soit la dissolution de l'oxygène en phase de fusion;
- préchauffage plus rapide des déchets jusqu'à la température de réaction étant donné que le milieu en fusion dispose d'une plus grande capacité thermique par unité de volume.

On arrive ainsi, avec des températures moins élevées et des temps de séjour plus courts, à obtenir le même rendement de destruction. Un autre avantage que présente le procédé est la facilité avec laquelle les produits chimiques neutralisants peuvent être utilisés directement dans la zone de combustion, évitant ainsi la nécessité d'épuration des acides au gaz après la réaction de destruction, ce qui simplifie le procédé.

4.3.2.1 Procédé Rockwell par sels en fusion

Siège social: Rockwell International
Energy Systems Group
8900 DeSoto Avenue
Conogo Park, California 91304

Responsable: J.G. Johansen
(213) 700-3508

Le procédé de destruction par sels en fusion de Rockwell et la technique qui en découle permet la décomposition et la destruction presque complète des déchets chimiques dangereux par exposition à un bain de carbonate de sodium en fusion à des températures variant de 840 à 982 °C. Ce procédé très efficace a été mis à l'essai avec succès dans des milieux à surplus ou à manque d'oxygène.

Le procédé comporte l'introduction des déchets et de l'air sous la surface d'un bain de sels en fusion contenu dans un dispositif cylindrique vertical sous pression atmosphérique. Le procédé peut traiter les déchets solides et les déchets liquides.

Si les déchets chimiques sont combustibles (minimum de 10 467 J/g), la réaction exothermique se déroule rapidement et la décomposition des déchets se traduit par le dégagement des gaz suivants: gaz carbonique provenant du carbone contenu dans les déchets et vapeur provenant de l'hydrogène. Si les déchets contiennent du soufre, du phosphore, du chlore ou d'autres halogènes, ces produits sont retenus dans le bain en fusion pour constituer le sel de sodium. Les éléments non combustibles des déchets constituent les cendres du bain en fusion.

Lorsque les déchets à décomposer comportent une valeur thermique inférieure à 10 467 J/g, il faut ajouter une autre matière combustible aux déchets afin d'en augmenter la valeur thermique. Ce produit peut être d'autres déchets ou une matière combustible peu coûteuse, comme le coke, l'huile, le solvant usé ou le charbon. Cet apport thermique n'est nécessaire que lorsqu'il s'agit de déchets à faible valeur calorifique. Dans certains cas, la combustion des déchets peut être favorisée par l'apport d'air riche en oxygène et, dans ce cas, aucun autre produit combustible n'est nécessaire.

Étant donné que la réaction des déchets dans le bain de fusion est rapide et complète, les effluents ne nécessitent qu'une épuration limitée et ne constituent aucun danger pour l'atmosphère. Ce fait pourrait accélérer l'homologation et l'acceptation du procédé. Les usines de destruction par sels en fusion nécessitent un espace relativement restreint, sont faciles à exploiter et d'un fonctionnement fiable.

Par ailleurs, la technique de destruction par sels en fusion de Rockwell se prête bien à la récupération de l'énergie ou des ressources matérielles que renferment les déchets. Les gaz sont produits à des températures pouvant atteindre 982 °C et peuvent être acheminés dans des systèmes de récupération de la chaleur afin de produire de la vapeur ou d'alimenter des centrales électriques. Il est aussi possible de récupérer certains métaux précieux (argent, vanadium, étain et chrome) que peuvent contenir certains déchets soit à l'état pur ou sous forme de sels métalliques desquels on peut extraire le métal par procédé chimique ordinaire.

Les sels usés sont retirés et refroidis afin de se solidifier; on en dispose par la suite comme des cendres inoffensives.

Rockwell a mis au point et construit deux systèmes de combustion élémentaires. Les installations d'essai de Santa Susana comportent un dispositif polyvalent, tapissé de matières

réfractaires et équipé de façon à pouvoir assurer l'alimentation en déchets et le retrait des sels en fusion, de façon continue ou par lots. L'instrumentation permet de surveiller constamment les gaz d'échappement en cours de fonctionnement.

Le système de combustion des sels en fusion est un dispositif de combustion en métal permettant l'alimentation continue des déchets et le retrait par débordement du bain en fusion à mesure que les déchets sont brûlés et que la teneur en cendres du bain augmente (voir figure 6).

La figure 7 donne le schéma simplifié du dispositif commercial comportant le système de combustion illustré à la figure 6. Le système comporte les trois modules de combustion en métal d'une capacité maximale d'une tonne/heure de déchets. Cet équipement peut traiter les déchets liquides et les déchets solides comme les PCB, avec un rendement de destruction de 99,9999 p. cent ou plus.

On donne à la figure 8 le schéma du système mobile qui sera disponible en 1983 et qui comporte le système de combustion illustré à la figure 6, capable de traiter un maximum de 102,1 kg/h de déchets halogènes, comme les PCB liquides ou tout autre déchet chimique combustible. Cet ensemble pourrait être monté sur les lieux pour le traitement de petites quantités de déchets. On pourrait aussi le déplacer d'un endroit à l'autre pour la destruction de plus grandes quantités de déchets accumulés.

La société Rockwell a entrepris des essais de combustion sur divers types de déchets dangereux et a obtenu un rendement de destruction d'au moins 99,9999 p. cent. À l'occasion de ces essais on se servait d'appareils et de dispositifs d'échantillonnage extrêmement sensibles pour l'analyse des gaz. Dans tous les cas, le rendement de destruction dépasse les exigences de l'EPA et la qualité des gaz d'échappement est bien inférieure aux minima fixés par l'EPA.

4.3.3 Procédés de traitement par lit fluidisé

Les procédés de traitement par lit fluidisé se fondent sur le même principe général que les procédés de traitement par lit à fusion sauf que dans le premier cas, le lit est constitué par des solides. Les matériaux solides à l'état granulaire fin sont fluidisés par l'injection d'un gaz. Dans le cas des procédés simples, ce gaz est l'air. Le lit est chauffé par apport de combustible ou la combustion de déchets. La réaction des produits qui alimentent le lit est favorisée comme précédemment par la chaleur dégagée par le lit. Les réactions se font à l'état gazeux plutôt qu'à l'état liquide (fonte).

4.3.3.1 Incinérateur Rockwell à lit fluidisé

Siège social: Rockwell International
Rocky Flats Plant, Energy Systems Group
P.O. Box 464
Golden, Colorado, 80401

Responsable: Jerry Langheim
Manager, External Communications
(303) 497-4255

L'incinérateur Rockwell à lit fluidisé se sert de deux réacteurs à lit liquide disposés en série pour la destruction des PCB. La mise à l'essai des procédés de destruction des PCB se déroule dans l'usine expérimentale, dont l'illustration schématique est donnée à la figure 9.

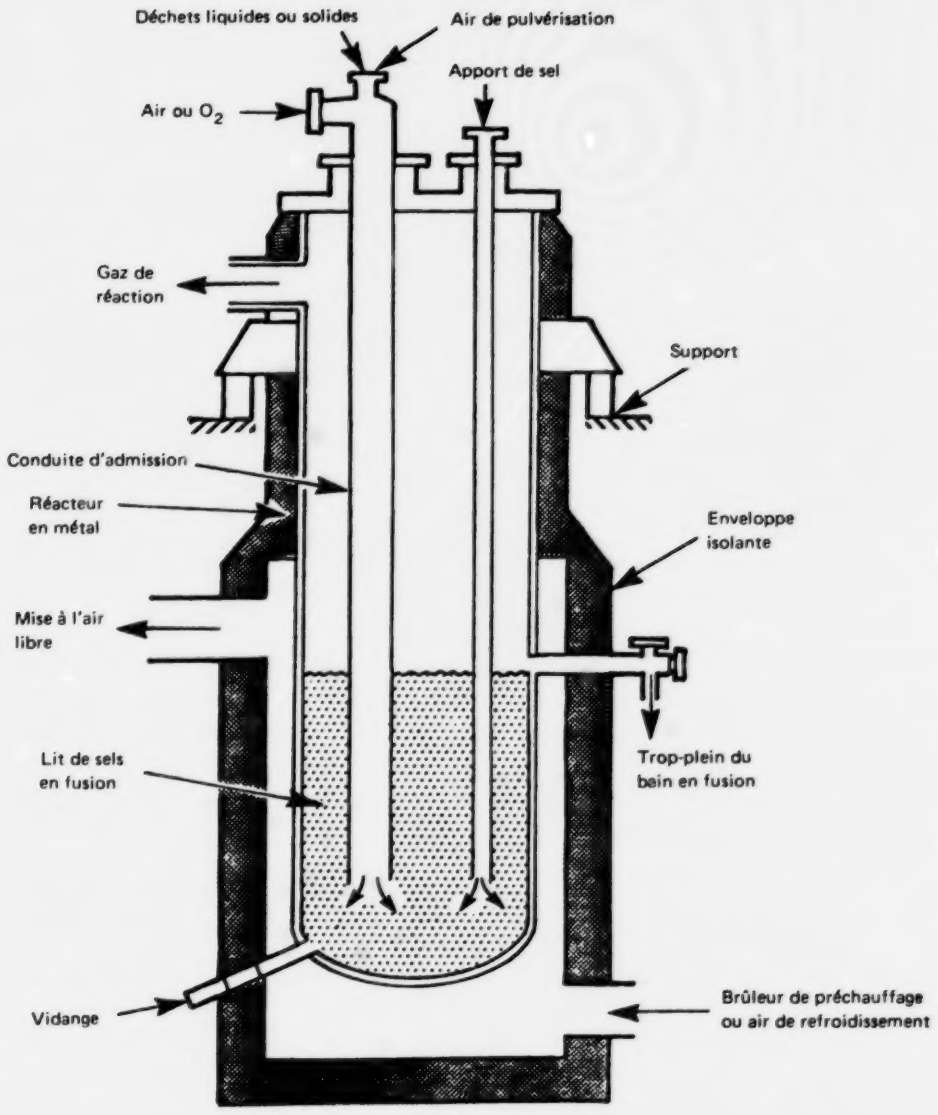


Figure 6 Schéma du réacteur à sels en fusion – version commerciale (Rockwell International)

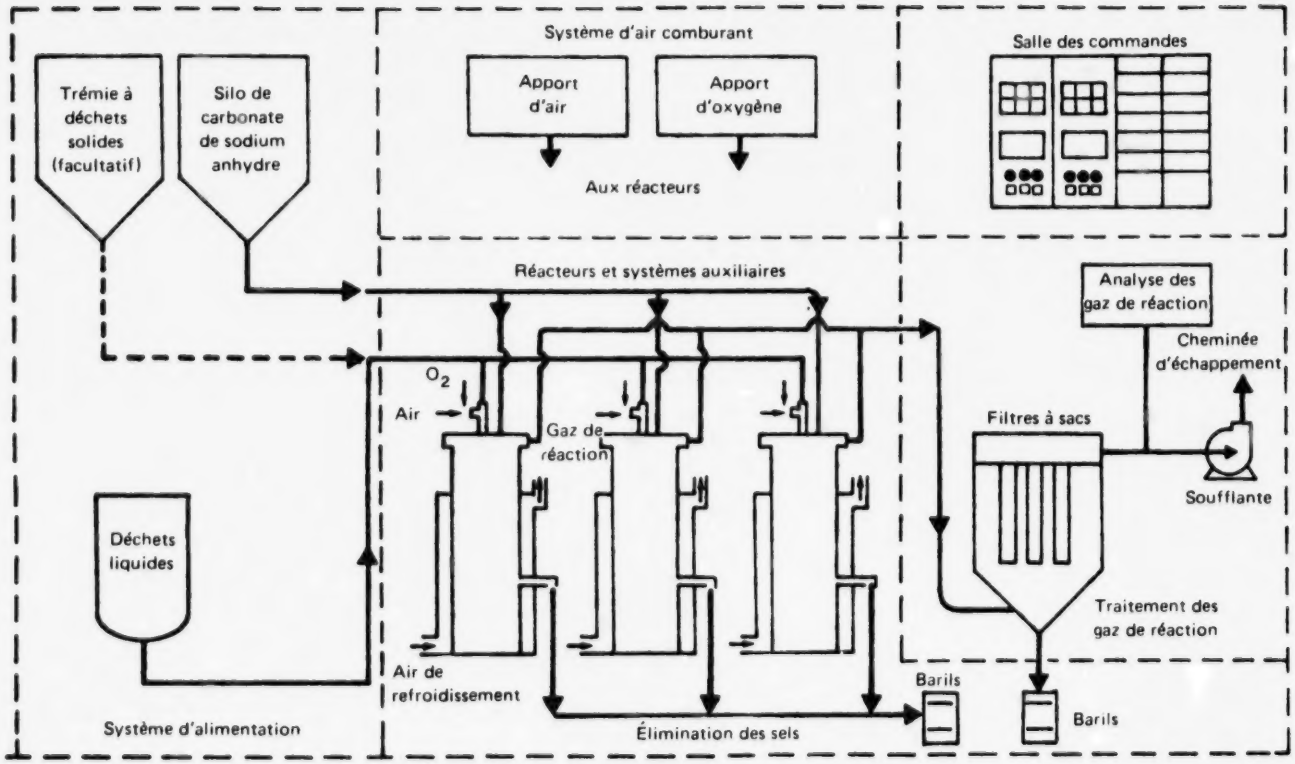


Figure 7 Installation commerciale fixe pour destruction par sels en fusion (Rockwell International)

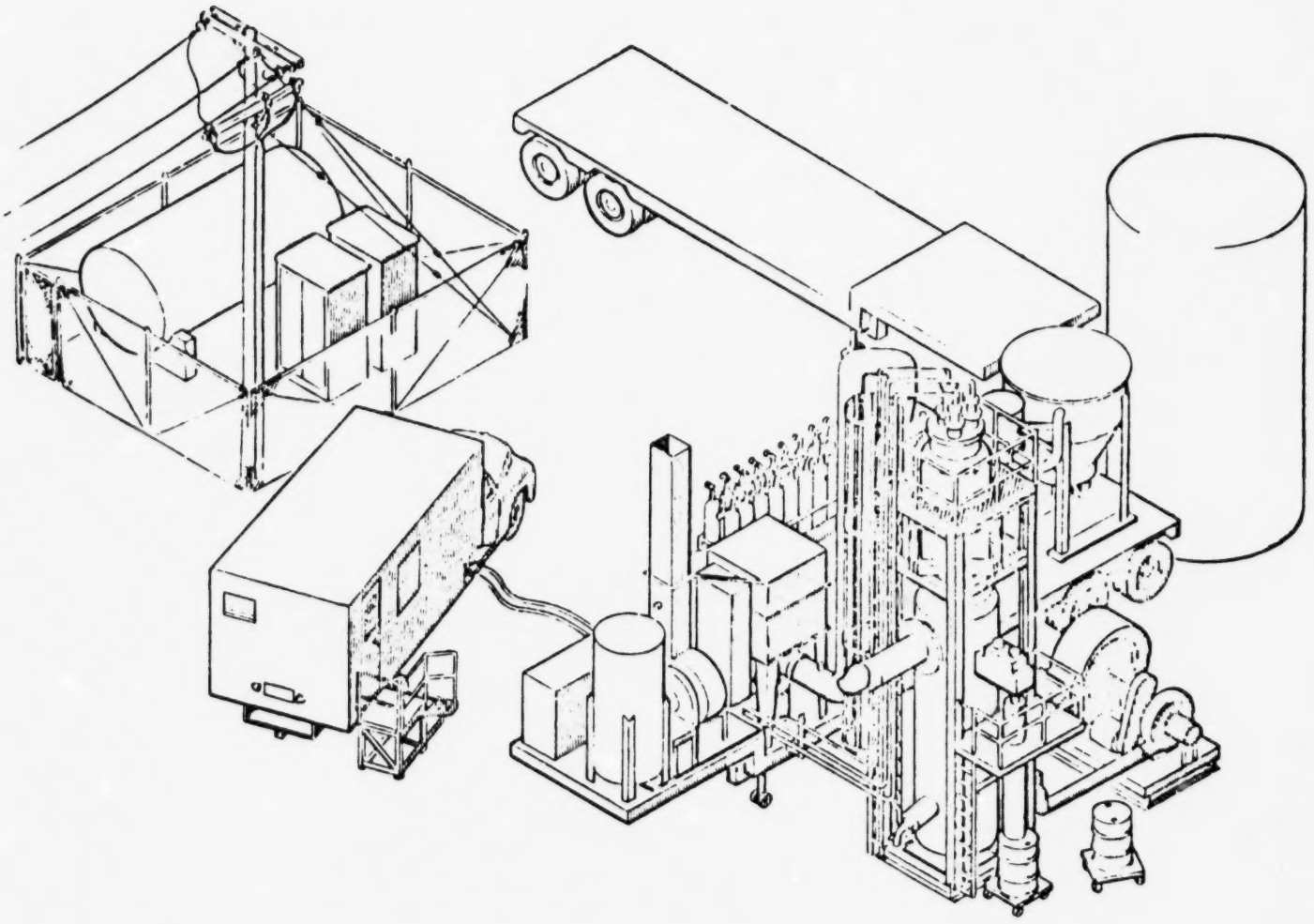


Figure 8 Usine portative de destruction par sels en fusion (Rockwell International)

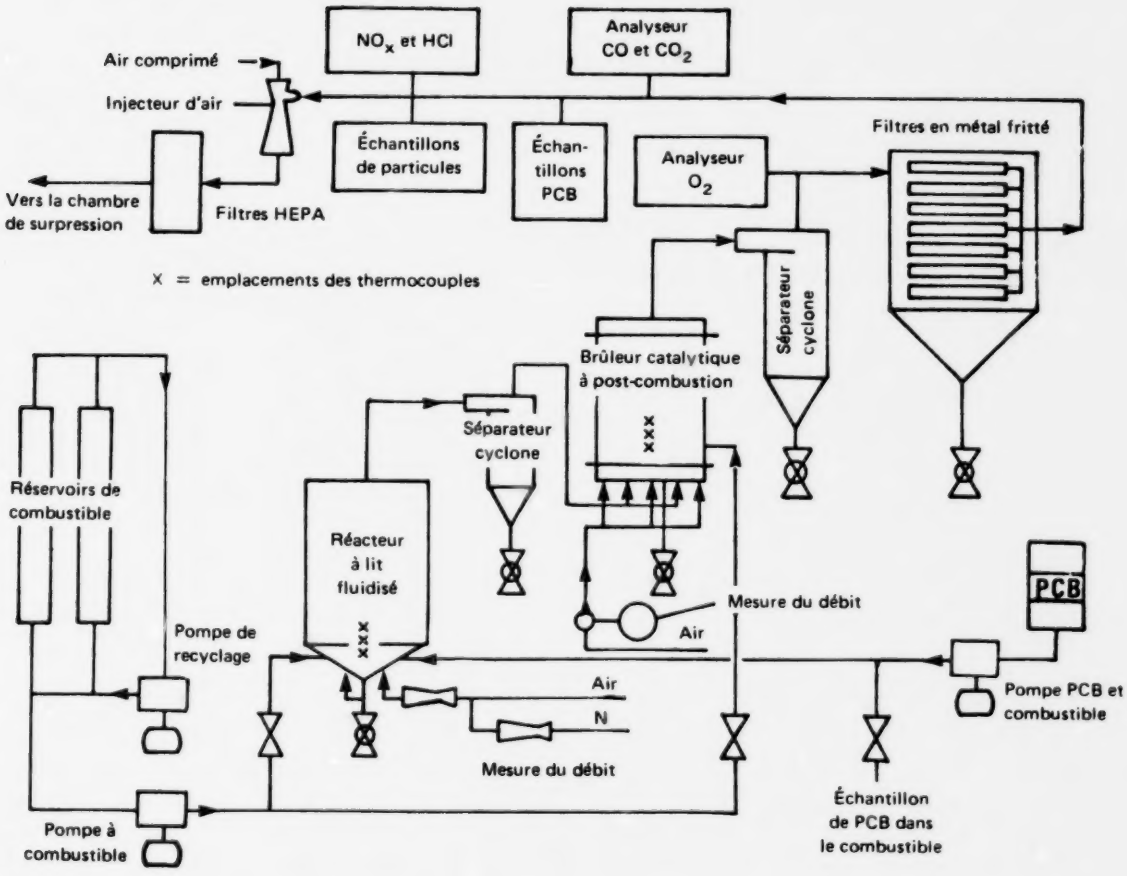


Figure 9 Usine expérimentale à lit fluidisé (Rockwell International)

Le lit des deux réacteurs est constitué de carbonate de sodium et du catalyseur Cr_2O_3 (20 p. cent Cr_2O_3 et Al_2O_3). La combustion des PCB produit de l'acide chlorhydrique qui réagit avec les constituants du lit pour former du chlorure de sodium. Il s'agit d'une réaction en surface sur les particules de carbonate de sodium. Le chlorure de sodium est enlevé de la surface des particules de sodium par attrition provoquée par l'état de fluidité du lit. Le chlorure de sodium et une certaine quantité de carbonate de sodium sont décantés du lit par le gaz de fluidisation, empêchant ainsi une accumulation de chlorure de sodium dans le lit.

La combustion de kérosène dans l'air assure le préchauffage du lit. Le premier réacteur à lit fluidisé fonctionne à une température variant entre 590 et 600 °C. Au moment de l'alimentation en déchets ou en mélange combustible/déchets, le contrôle de la température est assuré par la dilution de l'air de combustion avec de l'azote. La mise à l'essai de l'usine pilote s'est effectuée par une alimentation au kérosène ayant une teneur de 13 p. cent en PCB à un débit de 3 kg/h. Les gaz provenant du premier réacteur à lit fluidisé passent ensuite dans le séparateur à cyclone puis par le deuxième réacteur à lit fluidisé qui fonctionne à près de 700 °C et qui sert en fait de catalyseur à post-combustion. Avant l'extraction d'échantillons, les gaz provenant du deuxième réacteur sont passés par le séparateur à cyclone puis par des filtres à métal fritté. La circulation des gaz est assurée par l'éjecteur d'air qui est secondé par l'action des filtres à air à haut rendement. L'usine a été conçue à l'origine pour la combustion de déchets transuraniens à faible teneur, ce qui explique l'utilisation de puissants dispositifs anti-pollution. Ce type de configuration n'est peut-être pas nécessaire pour l'élimination des PCB.

La construction tout en métal est une des caractéristiques intéressantes de ce procédé. Les températures de traitement relativement faibles évitent l'usage de matières réfractaires.

Étant donné que les essais réalisés avec les PCB ont été relativement brefs, il n'est pas encore possible de préciser les types de déchets qui peuvent être traités ni les méthodes d'extraction des résidus. Le rendement de destruction observé pendant les essais de combustion des PCB a dépassé 99,9999 p. cent. Le rendement thermique observé se situait à 99,89 p. cent (CO_2/CO_2 + CO) avec un apport supplémentaire de 9,3 p. cent d'oxygène. Les émanations de NO_x ont été faibles et l'efficacité d'extraction du HCl se situaient à 98 p. cent.

À l'heure actuelle, l'usine pilote compte 5000 h d'exploitation avec divers déchets, y compris les PCB. L'exploitation de l'usine nécessite la présence d'un personnel d'un niveau de spécialisation moyen. Le procédé est encore en phase de mise au point et d'autres perfectionnements techniques doivent être apportés aux méthodes d'alimentation et d'agglomération continues des constituants du lit.

Les immobilisations et les frais d'exploitation de l'usine pilote s'élèvent à $800 000 et à $1 200 000 respectivement pour un débit de 45 kg/h. La destruction du PCB coûterait ainsi $2.73/kg. Ce chiffre pourrait être sensiblement moins élevé dans le cas d'une usine capable de traiter 4500 l/jour; le coût unitaire d'exploitation serait alors d'environ $1.31/kg. Le coût des terrains n'est pas inclu dans les immobilisations.

Un des principaux éléments des frais d'exploitation provient du coût des opérations de mélange du combustible et des matériaux qui constituent le lit. Les coûts d'exploitation annuels sont calculés à partir d'une utilisation à 85 p. cent avec 4 équipes travaillant 7 jours par semaine.

Les frais d'immobilisation ont été calculés par extrapolation des coûts réels des éléments suivants du système: réception et entreposage, système d'alimentation, pompage des barils et pompes d'alimentation, deux réacteurs à lit fluidisé, deux séparateurs à cyclone, filtres, injecteurs d'air, instrumentation et commandes, laboratoire et bureau et mise de fonds en cours de construction.

Le procédé Rockwell n'est pas encore disponible dans le commerce pour l'élimination du PCB.

Les effets du procédé sur l'environnement devront être évalués au moment de la mise à l'essai d'une usine grandeur réelle. Le rendement du procédé d'élimination est comparable au rendement par incinération. Il faudrait surveiller les opérations d'extraction du HCl et du CO au moment des essais complets.

Les services techniques Rockwell ont annoncé dans un communiqué de presse qu'il serait possible de monter le système sur rail pour l'amener sur les lieux d'accumulation des déchets, ce qui permettrait de tempérer l'opposition que soulève l'implantation d'usine d'élimination des PCB.

L'EPA des États-Unis a qualifié ce procédé de "choix viable pour la destruction de liquides à haute teneur en PCB", tout en notant que toute future exploitation doit recevoir leur homologation quant à la mise à l'essai d'un procédé plus perfectionné. Aux États-Unis, ce procédé est du ressort public, étant donné qu'il a fait l'objet d'un contrat de leur ministère de l'environnement. Références: Johnson, 1981; Langheim, 1981; Oppelt, 1981.

4.3.3.2 Autres procédés de combustion par lit fluidisé

Les autres installations à lit fluidisé qui pourraient servir à la destruction des PCB ont été brièvement analysées par TRW Inc. pour le compte de l'EPA.

La société System Technology Corporation (Systech) de Franklin, en Ohio, a mis à l'essai un lit fluidisé (7,6 m de diamètre, 1,0 à 1,8 m de profondeur) sur déchets phénoliques. La combustion des déchets liquides s'est effectuée au débit de 1 à 10 Mg/h et de 135 Mg/h pour les déchets solides (services municipaux).

Les sociétés Union Oil Company, Union maine et Hazen Research Inc., de Golden au Colorado, étudient aussi la possibilité de se servir de procédés à lit fluidisé pour l'élimination des déchets de raffinerie; ces procédés pourraient être aussi offerts sur le marché. Références: Ackerman et coll., 1981.

4.3.4 Procédés diesel

L'emploi du moteur diesel pour l'incinération des PCB ressemble aux procédés de co-traitement décrits précédemment. Le moteur diesel, qui sert principalement à la génération d'une force motrice, dégage une chaleur moyennement élevée qui peut servir à la combustion des PCB. Le moteur diesel est mieux adapté à ce genre de traitement que le moteur à essence, étant donné qu'il est alimenté par un carburant à faible volatilité injecté dans les cylindres. Il n'est donc pas nécessaire d'y apporter des modifications importantes pour l'alimenter aux PCB.

Selon les paramètres établis, le temps de séjour et la température de fonctionnement d'un moteur diesel sont trop faibles pour permettre une incinération complète. Par ailleurs, les parois des cylindres constituent d'importants puits thermiques ralentissant encore davantage la combustion. Par ailleurs, l'acide chlorhydrique, qui est un sous-produit de la combustion, risque d'attaquer les surfaces métalliques du moteur.

4.3.4.1 L'expérience de "The D & D Group, Incorporated"

Adresse: P.O. Box 372
Smithville (Ontario)
L0R 2A0

Responsable: T.W. Drew, President
(416) 957-3323

La société D & D Group se sert d'un moteur six cylindres en ligne Dorman Diesel 150 kW (division Dorman de GEC, au Royaume-Uni, pour l'application de cette technique. Le moteur diesel entraîne une génératrice électrique sous charge. Les gaz d'échappement du moteur sont lavés à l'eau neutralisée à la chaux afin d'absorber l'acide chlorhydrique ainsi produit. Après le lavage, les gaz d'échappement passent par un filtre à charbon actif avant de se dégager dans l'atmosphère. Le combustible est constitué d'un mélange de mazout (carburant diesel) et d'askarel. Le rapport optimal mazout/askarel n'a pas encore été fixé. L'alimentation du moteur s'est faite surtout à 50 p. cent d'askarel et 50 p. cent de mazout au poids, à l'exception de quelques essais à 75 p. cent d'askarel.

Ce procédé prévoit un système d'alimentation des déchets liquides PCB au moteur diesel. Le rendement de destruction est supérieur à 99 p. cent en ce qui concerne l'ensemble du système, soit en comptant les solutions provenant de l'épurateur et le charbon épuisé. Les promoteurs de ce procédé ont décidé de maximiser le rendement des opérations d'épuration et d'absorption après le cycle diesel et se proposent de recycler les PCB non traités en les passant à nouveau dans le système. L'ensemble proposé est portatif.

Des essais sont en cours au Royaume-Uni pour l'ensemble moteur diesel, épurateur et dispositif d'absorption. À la fin du mois de janvier 1982, le système diesel comptait 300 heures d'exploitation sur combustible askarel. Les essais ont démontré que 99,8 p. cent du chlore introduit dans le système a été transformé en chlorure. Le procédé ne peut traiter que les déchets liquides; le traitement de déchets solides nécessite l'incorporation de procédés d'appoint.

Les moteurs diesel sont en usage depuis bien longtemps, en particulier comme systèmes d'appoint. Selon certains fabricants, un avantage important de ce type de moteur provient de son adaptabilité à diverses sortes de combustibles. Le moteur ayant servi à l'évaluation des coûts est un diesel à injection, fabriqué par Detroit Diesel et qu'il est possible de faire tourner sans modification à divers combustibles, depuis le kérosène jusqu'à certains combustibles à brûleur n° 1 ou n° 2. Les fabricants ne se sont pas servi de moteur diesel alimenté par des liquides à base de PCB, ni de mélange d'askarel et de mazout. Il est possible qu'ils hésitent de garantir l'équipement même s'il comporte un système d'injection de leur propre fabrication.

Les éléments suivants seraient probablement nécessaires: système de refroidissement séparé, système de pompage du combustible, systèmes de lubrification, démarrage manuel avec arrêt automatique en cas de panne du système de refroidissement ou de lubrification, système de filtrage du combustible pompé avant l'injection dans les cylindres.

Le moteur diesel avec génératrice et système de traitement des effluents est disponible sur le marché. Tous les essais qui ont eu lieu au Canada et au Royaume-Uni ont été réalisés avec des moteurs disponibles dans le commerce, les seules modifications nécessaires ayant porté sur le système de contrôle des gaz d'échappement. Il est possible qu'il faille aussi équiper le moteur diesel d'un compresseur de pulvérisation.

Le procédé diesel du D & D Group a fait l'objet d'une première acceptation prudente en Ontario. D'autres essais sont prévus par la société avant de soumettre le système à l'approbation des autorités de réglementation pour la destruction des PCB sur une échelle commerciale.

Le procédé diesel impose peu de contraintes à l'exploitant, à condition de prendre des précautions normales dans la manipulation des déchets et le fonctionnement de l'équipement lourd. Étant donné que les systèmes diesel pourraient exister en version mobile, les effets de ce

type de procédé sur la population seraient répartis sur l'ensemble des communautés où existe un besoin de traitement des déchets. Les détails du système complet de lavage et d'absorption ne sont pas connus à l'heure actuelle; il n'est donc pas possible d'en évaluer les répercussions sur la population et l'environnement naturel. On note cependant que le système a été qualifié "d'autonome" et que le procédé est jugé "contrôlable"; les débits d'air et de gaz sont faibles et peuvent être facilement récupérés et filtrés. Références: Evans, renseignements personnels, 1982.

4.4 Procédés chimiques

Il existe une distinction fondamentale entre les procédés de destruction des PCB par réaction chimique par rapport à la destruction par incinération. Il est à noter que l'incinération n'en demeure pas moins un procédé chimique à proprement parler. Cependant, la distinction se fonde sur la présence de température élevée dans le cas des procédés par incinération, alors que les procédés chimiques se fondent sur la réaction chimique proprement dite, plutôt que la chaleur. Il est évident que certaines réactions chimiques produisent de la chaleur, mais il s'agit là d'une conséquence du procédé et non d'une condition d'exécution.

Les types de procédés décrits ci-après sont:

- la déchloruration chimique;
- les procédés par énergie radiante;
- les oxydations à basse température.

4.4.1 Déchloruration chimique

Tous les procédés de déchloruration chimique utilisent des réactifs chimiques pour réaliser la décomposition de la molécule PCB qui est très stable et pour la transformation en d'autres produits chimiques inoffensifs et qui ne présentent pas de danger pour l'environnement. Ces procédés parviennent à décomposer la molécule PCB sans détruire la structure biphényle de la molécule. Seuls les atomes de chlorure, qui confèrent à la molécule PCB sa stabilité chimique et biologique, sont extraits.

La plupart des procédés de déchloruration chimique utilisent un réactif au sodium pour détacher les atomes de chlorure de la molécule PCB. Les sous-produits de ce procédé sont le chlorure de sodium et les polyphényles non halogènes. Les éléments qui constituent les polyphényles sont souvent inconnus, mais il est possible de se débarrasser du chlorure de sodium et des polyphényles en toute sécurité.

Dans la plupart des cas, il s'agit d'éliminer les PCB qui contaminent l'huile qui pourrait être utilisable. Les procédés de déchloruration au sodium peuvent se dérouler à température ambiante ou à faible température; ces procédés parviennent à détruire les PCB qui contaminent l'huile sans toutefois décomposer l'huile qui peut être recyclée et utilisée à nouveau. La déchloruration au sodium comporte cependant des limites; en fait, la déchloruration économique des PCB ne s'applique qu'à l'huile qui peut être recyclée et utilisée à nouveau.

La déchloruration des PCB par réactifs au sodium doit être menée dans une atmosphère d'azote ou autrement inerte afin d'empêcher la consommation excessive de réactifs et des risques d'incendie que comporte la création d'hydrogène par contact avec l'eau ou l'humidité contenue dans l'huile.

4.4.1.1 Le procédé Goodyear au naphthalide de sodium

Siège social: Goodyear Tire and Rubber Co.
1144 East Market St.
Akron, Ohio 44 316-0001

Le procédé au naphthalide de sodium fait usage d'un réactif composé de sodium et de naphthalène pour la déchloruration des PCB à température ambiante. Le réactif au naphthalide de sodium est produit par un procédé en deux étapes, dans un seul contenant. Le sodium métallique est d'abord chauffé de 150 à 170 °C dans du liquide de transfert de chaleur ou du liquide transformateur sous atmosphère inerte. La solution est ensuite refroidie à température ambiante avec agitation pour former du sable de sodium fin. On ajoute en deuxième étape une solution de naphthalène au tétrahydrofuranne au sable de sodium dans le liquide à température ambiante, obtenant ainsi le réactif naphthalide de sodium de couleur noir verdâtre. Le réactif est ajouté à l'huile contaminée aux PCB en quantité suffisante pour obtenir un rapport réactif/chlorure d'au moins 6:1 à 100:1 selon le type de liquide et son degré de contamination.

La réaction se déroule rapidement à température ambiante. Une heure plus tard, tout excès de réactif est trempé à l'eau et le liquide de trempage est traité sous vide pour récupérer le tétrahydrofuranne et la naphthalène pour fin de recyclage. Les résidus sont traités à nouveau par distillation sous vide, si l'huile traitée est destinée au recyclage.

La déchloruration au naphthalide de sodium donne les produits suivants:

- huile traitée;
- polyphényles non halogènes;
- chlorure de sodium.

Ce procédé de déchloruration ne peut être utilisé qu'avec des huiles usées à faible teneur en PCB. Il n'est pas possible de s'en servir pour la déchloruration des PCB dans l'eau.

Le procédé Goodyear a été mis à l'essai en laboratoire et dans des conditions d'exploitation commerciales. Les essais en laboratoire ont démontré que les teneurs en PCB peuvent être diminuées de 20 000 ppm à moins de 2 ppm. Les essais à échelle commerciale ont été effectués dans des réacteurs en acier inoxydable sous atmosphère inerte à l'azote; le procédé a permis de réduire les teneurs en PCB de 130 ppm à moins de 10 ppm.

La société Goodyear ne cherche pas à exploiter le procédé au naphthalide de sodium sur le plan commercial; c'est la raison pour laquelle la société a mis les renseignements techniques à la disposition du public. Diverses versions du procédé ont été récemment commercialisées par d'autres sociétés.

Bien que cette technique ait été mise à l'essai, il est nécessaire de poursuivre les essais pour s'assurer que le procédé est conforme aux règlements relatifs aux PCB et pour déterminer la composition des sous-produits.

Ce procédé discontinu est de conception avancée et sert de point de comparaison pour les sociétés qui cherchent à modifier le système pour obtenir l'homologation de la EPA.

Au débit de 910 l/h, les coûts d'exploitation de ce système seraient d'environ $0.30/kg d'huile contaminée. Ce chiffre pourrait augmenter jusqu'à au moins $3.00/kg pour le traitement d'huile à 10 p. cent de teneur en PCB, ce qui correspond à ce que peuvent traiter les incinérateurs classiques. La possibilité de pouvoir recycler l'huile traitée présente un autre avantage sur le plan commercial.

Le procédé au naphthalide de sodium se déroule à température ambiante sous atmosphère inerte avec une très faible augmentation de température en cours de réaction. Ainsi, les

risques auxquels s'exposent les ouvriers qui doivent traiter l'huile contaminée aux PCB par le procédé de naphthalide de sodium seraient minimes. Un des risques possibles pourrait provenir de la production d'hydrogène lorsque le sodium non traité entre en contact avec l'eau de trempage. On peut contrôler ce procédé par l'apport attentif et lent d'eau de trempage et par le maintien en tout temps d'une atmosphère inerte dans le réacteur.

Les risques auxquels s'exposent les ouvriers qui manipulent les produits chimiques inflammables, comme le tétrahydrofuranne qui sert à la fabrication du réactif naphthalide de sodium, seraient minimes à condition que l'on prenne les mesures de précaution nécessaires pour la manipulation de ces produits.

La composition des résidus polyphényles, qui sont des sous-produits de la réaction, n'est pas connue. On ne sait donc pas si l'incinération de ce produit présente des risques à la population ou à l'environnement. D'autres essais sont donc nécessaires avant de pouvoir répondre à cette question. Références: Goodyear Tire and Rubber Co., 1980.

4.4.1.2 PCBX Sunohio

Siège social: Sunohio
1700 Gateway Blvd. S.E.
Canton, Ohio 44707

Responsable: Carl Sorenson
(216) 452-0837

Le procédé PCBX est un procédé continu utilisant un réactif spécialisé pour extraire les atomes de chlorure des molécules de PCB et pour les convertir en chlorures métalliques et en composés polyphényles. L'ensemble PCBX est monté sur un gros camion-remorque. Le matériel de récupération et un laboratoire mobile sont montés sur un plus petit camion-remorque. Les deux ensembles sont autonomes et peuvent être alimentés par une source extérieure d'électricité à 460 ou 230 volts, 60 hertz. Les ensembles sont construits de sorte que toutes les phases du procédé de traitement se déroulent au-dessus de cuvettes de déversement reliées à des réservoirs de secours ayant une contenance correspondant au plein débit pendant une heure. L'ensemble est conçu pour décontaminer 2,3 m^3/h d'huile de transformateur contenant 2000 ppm de PCB. Plus la teneur en PCB de l'huile est élevée, plus l'efficacité du traitement est grande. Le traitement d'une huile contaminée à 3000 ppm de PCB se déroulerait comme suit:

Premier traitement: réduction à moins de 1000 ppm
Deuxième traitement: réduction à près de 100 ppm
Troisième traitement: réduction à moins de 2 ppm

Le procédé se déroule comme suit:

- on effectue la chromatographie en phase gazeuse de l'huile pour déterminer la teneur en PCB;
- l'huile est chauffée et on effectue un premier traitement (données non diffusées) pour extraire l'humidité et les contaminants;
- l'huile chauffée est introduite dans le réacteur et on ajoute le produit réactif proportionnellement à la teneur en PCB de l'huile. La réaction s'effectue;
- la solution est centrifugée, filtrée à trois reprises et dégazée sous vide;
- l'huile traitée est transférée dans le transformateur ou dans un réservoir d'entreposage.

Le procédé PCBX est en mesure de traiter des PCB à l'état pur ou de l'huile de transformateur contaminée aux PCB. Le réactif ne peut pas servir au traitement des solutions aqueuses, telle que l'eau souterraine contaminée aux PCB. Au cours de deux essais menés pour le compte de l'EPA des États-Unis, le procédé PCBX a servi au traitement d'huile de transformateur et d'askarel à 225 ppm. Après le premier traitement, l'huile de transformateur ne contenait plus que 1 ppm de PCB. Le traitement de l'askarel s'est déroulé au débit de 150 ml/min et la chromatographie en phase gazeuse a démontré que le procédé avait permis la réduction de la teneur en PCB dans le liquide de 4400 ppm à 7 ppm. Un essai effectué pour la région V de l'EPA en mai 1982 a permis de traiter de l'huile de transformateur contaminée au PCB à raison de 1760 ppm et de réduire cette contamination en trois traitements aux limites des appareils de mesure.

Le procédé PCBX Sunohio a été homologué pour toutes les régions de l'EPA des États-Unis, les limites ppm étant indiquées ci-dessous:

Région I : pas de limite.
Région II : pas de limite; limite de 500 ppm dans la boucle réacteur.
Région III: pas de limite; limite de 500 ppm dans la boucle réacteur.
Région IV: pas de limite.
Région V : pas de limite; limite de 500 ppm dans la boucle réacteur.
Région VI: 1000 ppm, avec limite de 500 ppm dans la boucle réacteur.
Région VII: 10 000 ppm.
Région VIII: 2000 ppm, avec certaines limitations de volume.
Région IX: pas de limite.
Région X : pas de limite; 1500 ppm dans la boucle réacteur.

Les régions pour lesquelles des limites d'alimentation du réacteur ont été fixées à 500 ppm, des limites supérieures seront fixées dès qu'on aura démontré l'efficacité du traitement. Une telle démonstration a été réalisée sous l'égide de la région V et la procédure de révision de l'homologation est en cours.

Le procédé Sunohio est en exploitation commerciale depuis le milieu de l'année 1981. À la fin de mai 1982, la compagnie comptait vingt clients importants et satisfaits du rendement du procédé grâce auquel on avait ainsi traité 500 000 gallons d'huile contaminée qui a pu être remise en service après élimination des PCB. Il existe à l'heure actuelle (fin mai 1982) cinq usines en exploitation et la société est en mesure de construire et de mettre en service plusieurs nouvelles usines chaque mois.

Les promoteurs du procédé PCBX déclarent pouvoir transformer l'huile servant à l'isolation de l'appareillage électrique et de la ramener à l'état neuf, ce qui a été confirmé par les essais complets menés par des clients de la société, soit le Electric Power Research Institute et le Double Testing Laboratories. Étant donné la qualité de l'huile, il est possible de relier le procédé PCBX directement à un transformateur afin de décontaminer le transformateur ainsi que l'huile. Ce procédé ne satisfait cependant pas au règlement portant sur les PCB.

Il existe peu de renseignements sur les divers éléments de l'ensemble et encore moins sur la nature exacte du réactif. Sunohio a été avisé par le bureau des brevets des États-Unis que des demandes de divulgation du procédé ont été reçues. Des demandes semblables de brevets ont été reçues au Canada et dans tous les autres principaux pays industrialisés.

Les coûts d'utilisation de l'ensemble varient selon la quantité à traiter et le degré de contamination. Le prix actuel pour le traitement aux États-Unis d'huiles contaminées varie de $80 à $1.30 par litre d'huile en vrac, dépendant du degré de contamination. Il est important de

tenir compte de la valeur de l'huile récupérée lorsqu'on compare le coût de ce procédé avec d'autres procédés de destruction des PCB. Les prix des transformateurs sont établis à l'unité et l'ensemble est facilement disponible.

L'ensemble Sunohio est entièrement sous enceinte et ne devrait pas présenter de risques aux ouvriers qui y travaillent à condition qu'on applique des mesures appropriées pour la manipulation des déchets et des réactifs. L'ensemble est mobile et peut servir au traitement des PCB sur place. Il ne devrait donc pas y avoir d'opposition de la part de la population. Ce procédé ne produit aucune émanation ni aucun sous-produit nocif.

L'huile ainsi traitée est stable sur le plan environnemental et peut être utilisée à nouveau. Des études toxicologiques des sous-produits, menées par Sunohio et l'EPA, démontrent que ces matières ne présentent aucun danger.

Sunohio qui a mis le procédé PCBX au point, est une association formée de la Sun Company et de la Ohio Transfer Corporation. Références: EPRI, 1981; conférence annuelle de la Southern Electric Exchange, 1981; Sworzyn and Ackerman, 1981.

4.4.1.3 Procédé Acurex

Siège social: Acurex Waste Technologies Inc.
485 Clyde Avenue
Mountain View, California 94042

Directeur général: Don Fraser
(415) 964-3200

Directeur de la recherche: Leo Weitzman,
Acurex Waste Technologies, Inc.
074 Beechmont Avenue
Cincinnati, OH 45230
(513) 474-4420

Le procédé de déchloruration Acurex est un dérivé du procédé Goodyear au naphthalide de sodium. Le système Acurex utilise un procédé discontinu mobile pour le traitement des PCB et de l'huile contaminée aux PCB avec un réactif au sodium au débit de 0,9 m^3/h.

La société a modifié le réactif au naphthalide de sodium en remplaçant le naphthalène, qui est un polluant prioritaire, avec un autre constituant (spécialisé) qui constitue un polluant non prioritaire. Les PCB ou l'huile de transformateur contaminée aux PCB sont admis dans l'appareil, filtrés et divisés en petits lots. À mesure que l'huile circule vers le bas, on ajoute le réactif au sodium pour permettre à la réaction de se produire. Après la destruction complète des PCB, telle que déterminée par la chromatographie en phase gazeuse d'un échantillon, le surplus de réactif est trempé. On filtre ensuite l'huile décontaminée qui est acheminée pour un nouveau traitement ou pour servir de mazout. Le procédé Acurex se déroule sous atmosphère inerte à température ambiante avec de légers surplus du réactif au sodium.

La documentation du fabricant précise que le procédé Acurex produit de l'huile traitée ne contenant pas de PCB et des effluents d'hydroxyde de sodium. La documentation n'indique pas le traitement qui est réservé au chlorure de la molécule de PCB; cependant, il est probable que le chlorure soit extrait sous forme de NaCl dans les effluents NaOH. Les seules émanations dans l'air sont constituées par de petites quantités d'azote et d'hydrogène ayant moins de 1 g/min d'hydrocarbures et aucune quantité mesurable de PCB ni de particules.

L'huile de transformateur ayant une teneur allant jusqu'à 1062 ppm de PCB peut être traitée par l'Acurex. Dans le cadre des essais entrepris en septembre 1981 par l'EPA, de l'huile contenant un maximum de 1062 ppm de PCB a été traitée; les PCB furent complètement détruits. Le procédé permet de réduire facilement la teneur en PCB à moins de 2 ppm. Comme pour tous les autres procédés au sodium, le système Acurex ne peut pas servir au traitement des PCB en solution aqueuse.

Le procédé Acurex a été mis au point en 1980 et Acurex exploite à l'heure actuelle une unité mobile pour la destruction des PCB. Selon la demande, la société prévoit la mise en exploitation de 6 à 12 unités avant la fin de 1982. La capacité d'élimination des PCB par les unités mobiles a été soumise à des essais complets et on attend l'homologation par l'EPA avant l'exploitation commerciale du procédé.

Le procédé se prête bien au contrôle par étapes successives. Il est possible de surveiller l'état de l'huile contaminée à chaque étape, tout en optimisant le débit.

Le coût d'élimination des PCB au moyen de ce procédé serait d'environ $2.40/gallon d'huile traitée, soit près de $0.70 (U.S.)/kg. L'appareil a été conçu pour la destruction des PCB jusqu'à une concentration de 1000 ppm dans l'huile contaminée, ce qui est bien inférieur aux capacités des autres procédés qui peuvent traiter des concentrations de PCB de 10 p. cent ou plus. Des huiles ayant des teneurs en PCB de 10 000 ppm ont été traitées selon ce procédé et on effectue à l'heure actuelle des démonstrations à ce niveau précis.

Selon toutes les données d'essais disponibles, le procédé Acurex ne dégage pas d'effluents ni de sous-produit qui exposeraient les ouvriers, la population ou l'environnement à un risque grave. Pour assurer la sécurité des ouvriers, il faut assurer le contrôle convenable de l'appareil et la vérification des produits et des sous-produits. La mobilité de l'Acurex en diminue les répercussions sur la population. Il n'est pas nécessaire de déplacer les liquides contaminés que l'on veut traiter, ce qui diminue les risques de déversement et élimine les risques auxquels on expose une région donnée lorsqu'on construit des installations permanentes.

Le procédé de destruction des PCB par un appareil mobile Acurex a reçu l'homologation de trois régions EPA pour l'élimination des PCB dans l'huile de transformateurs ayant une teneur maximale de 1000 ppm de PCB. La société s'attend à recevoir incessamment les approbations des autres régions. Références: Weitzman, 1982; Miille, 1981; Acurex Corp., 1981.

4.4.1.4 Procédé PPM

Siège social: PPM Incorporated
8220 Travis
Overland Park, Kansas 66204

Responsable: Dennis Tapsak
(913) 648-0448

PPM Incorporated a mis au point un procédé chimique pour la destruction des PCB au moyen d'un réactif au sodium. L'unité mobile, montée sur camion remorque, effectue sur les lieux le traitement de l'huile contaminée aux PCB. Le réactif spécialisé au sodium est ajouté à l'huile contaminée pour entammer la réaction. Le procédé de décontamination mobile de PPM Inc. ne cause pas d'effets nocifs sur l'environnement. Il n'y a aucun effluent et les seules émanations se limitent à l'azote et à une petite quantité d'hydrogène. Le polymère solide que l'on retire par filtrage de l'huile est un produit réglementé aux États-Unis, mais il ne contient pas

de PCB et peut être facilement éliminé. Le procédé produit près de 55 gallons (U.S.) de polymère par près de 40 000 l d'huile traitée.

Selon les essais entrepris par l'EPA aux États-Unis, le rendement de destruction est acceptable. Soixante-dix mille litres d'huile contaminée à 200 ppm de PCB ont été traités au réactif au sodium. Après la réaction, aucune trace de PCB n'était perceptible dans l'huile traitée.

Les renseignements dont on dispose au sujet du procédé PPM ne sont pas suffisants pour pouvoir estimer le coût des immobilisations ni les frais d'exploitation. Ces coûts devraient être comparables aux coûts des autres procédés au sodium.

Le procédé PPM a été homologué par les régions I, IV et VIII de l'EPA pour la purification des huiles contaminées à un maximum de 10 000 ppm de PCB, et PPM prévoit l'homologation par toutes les régions EPA en été au plus tard. PPM exploite une usine depuis janvier 1982. L'adoption de ce procédé au Canada est en cours d'étude. Références: Documentation du fabricant, Communication avec D. Tapsale, 1982.

4.4.1.5 Procédé NaPEG

Siège social: Franklin Institute Inc.
Research Laboratories
The Benjamin Franklin Parkway
Philadelphia, Pa. 19103

Responsable: Dr. Steve Osborn,
Technical Manager
(215) 448-1297

Le réactif utilisé dans le procédé NaPEG de destruction des PCB est un complexe polyéthylèneglycol de sodium. La composition du réactif peut être variée dépendant du type de polyéthylèneglycol (PEG) utilisé. Le PEG400 (polyéthylèneglycol ayant une masse moléculaire d'environ 400) est normalement combiné avec le sodium pour former le NaPEG400. Le polyéthylèneglycol de sodium est formé par addition de sodium au polyéthylèneglycol à température élevée. La production du polyéthylèneglycol de sodium de couleur ambre se fait presque immédiatement avec production de chaleur et d'hydrogène.

Le Franklin Institute produit le NaPEG dans ses usines de Philadelphie et expédie le réactif sur les lieux de destruction des PCB. Le réactif ainsi produit est stable jusqu'à un maximum de 2 ans. Il n'est sensible ni à l'air ni à l'eau et ne contient pas de sodium sous forme métallique. La destruction des PCB selon le procédé NaPEG se fait en installation mobile ou fixe. Le réactif NaPEG est ajouté aux produits contaminés aux PCB, après division en plus petites quantités et à des températures variant entre la température ambiante et 150 °C. Après la réaction, les sous-produits sont extraits et tout excès de réactif est neutralisé après l'élimination évidente des PCB. Les sous-produits de la réaction sont le chlorure de sodium, des produits organiques non toxiques et le produit décontaminé.

Le réactif NaPEG peut servir à la décontamination des huiles contenant des PCB. L'usage du réactif pour la décontamination de la terre et des solutions aqueuses contaminées est à l'étude et est subventionné par l'EPA. La présence d'eau ou d'air en petites quantités ne semble pas intervenir dans le déroulement de la réaction.

L'exploitation du procédé est simple; les usagers peuvent en général traiter leurs huiles contaminées et les récupérer sur place en se servant d'un équipement relativement simple. Il est

possible de construire une usine de traitement par lots, en se servant d'éléments disponibles sur le marché et d'un certain équipement spécial, comme un agitateur, un contrôleur et une pompe spéciale. Le Franklin Institute a mis au point une usine de démonstration du procédé qui sert à l'heure actuelle à l'évaluation du procédé au compte de l'EPA américaine. À l'occasion d'essais menés sous la surveillance de l'EPA, on est parvenu à traiter des huiles contaminées à un maximum de 400 ppm de PCB.

Les techniques dont on se sert ne sont pas de nature complexe et seraient relativement faciles à exploiter. Il n'existe pas à l'heure actuelle d'installation en service pour la destruction des PCB. Le procédé semble se conformer à tous les règlements de l'EPA relatifs aux PCB, en particulier en ce qui a trait aux émanations provenant de la réaction, qui sont inférieures aux niveaux détectables.

Il existe peu de renseignements portant sur le débit, les concentrations en PCB ou les coûts. Cependant, on estime les coûts actuels de décontamination d'un liquide contaminé aux PCB à environ $1.50/kg.

L'exploitation du procédé nécessite l'usage d'équipement de traitement par lots: réservoirs, pompes de transfert, chambres de mélange, robinets à membrane, tuyauteries en matériaux compatibles, etc.

Une fois produit, le réactif NaPEG n'est pas nocif, même s'il doit être manipulé avec soin, comme tout autre produit chimique.

Le procédé NaPEG n'affecte pas particulièrement la population ni l'environnement, même si la composition exacte du sous-produit organique n'est pas encore connue.

Le procédé NaPEG est en cours de démonstration dans la région III de l'EPA aux États-Unis et son homologation, actuellement à l'étude, est prévue pour le début du 3e trimestre de 1982. Références: Franklin Inst. Research Lab. Inc.; Pytlewski et coll.

4.4.1.6 Procédé Environmental International

Siège social: Environmental International Inc.
912 Scott
Kansas City, Kansas 66105

Responsable: William McGaugh, Senior Vice-President
(913) 281-0057

Environmental International Inc., a mis au point un procédé de traitement des huiles de condensateurs et de transformateurs contaminées aux PCB. Ce procédé, qui remplace les procédés par incinération, commence par le rinçage mécanique des condensateurs pour l'évacuation de tous les PCB. Les condensateurs nettoyés sont ensuite démontés et parfaitement rincés. Le métal ainsi récupéré est vendu à la ferraille. Le liquide contaminé aux PCB est entreposé dans un réservoir en attendant le traitement.

Les liquides contaminés aux PCB provenant des condensateurs ainsi que les huiles de transformateurs à 570 000 ppm de PCB sont traités par procédé chimique avec un réactif spécialisé. L'huile traitée est recyclée et les sous-produits non toxiques sont enfouis.

Le procédé Environmental International est en mesure de traiter les condensateurs mis hors service à raison de 100 condensateurs par équipe de travail et de traiter aussi les huiles contaminées provenant de transformateurs. Le procédé de traitement chimique n'est pas disponible à l'heure actuelle en version mobile, mais la société serait disposée à mettre au point de telles installations s'il existait une demande de la part du marché.

Environmental International est autorisée à traiter des condensateurs contaminés aux PCB. Les condensateurs qui ne sont pas affectés d'une fuite et emballés dans des caisses en bois sont traités au coût de $1.10/kg alors que les condensateurs en barils en acier sont traités à $1.65/kg (les frais de transport ne sont pas compris). Lorsque la société accuse réception des condensateurs, elle assume la responsabilité juridique pour le traitement convenable ou l'élimination des PCB et du contenant. Les condensateurs emballés sont entreposés sur place jusqu'au moment du traitement.

Le procédé a reçu une homologation pour une durée de 3 ans de la région VII de l'EPA et la société est autorisée à accepter des produits contaminés aux PCB provenant de n'importe quel endroit, à condition que le traitement soit effectué à l'usine de Kansas City. Références: McCaug, communication personnelle, 1982.

4.4.1.7 Autres procédés de déchloruration au sodium*

Nom de la société	Type de procédé	État des travaux
Life Enterprises Inc., Barto, PA	Procédé modifié au naphthalide de sodium	L'étude du procédé par la région III de la EPA a été demandée mais aucune suite n'y a été donnée
General Electric Corp., Philadelphia, PA	Procédé classique au sodium. Les constituants précis du réactif ne sont pas connus (confidentiel)	La mise à l'essai du procédé est approuvée pour la région III de l'EPA. Laissée à la discrétion de la compagnie
British Columbia Hydro	Procédé de déchloruration au sodium métallique	Étude des possibilités d'exploitation du procédé réalisée en laboratoire
Ontario Hydro	Procédé de déchloruration au sodium métallique	Essais en usine pilote
PCB Destruction Co. Kansas City, MO	Procédé de déchloruration au sodium	Mise à l'essai du procédé pour la région VII de l'EPA. Les résultats font état de difficultés
PCB Eliminators Kansas City, MO	Déchloruration chimique	À l'étude par la région VII de l'EPA
Radium Petroleum Kansas City, MO	Déchloruration chimique des huiles contaminées	Démonstration pour l'EPA sur banc d'essai, avec résultats satisfaisants. Procédé à l'étude

* Un certain nombre d'autres procédés de déchloruration au sodium ont été identifiés. La plupart d'entre eux sont au début de la phase de mise au point et peu de nouveaux renseignements sont disponibles. Ces procédés sont énumérés ci-dessous.

4.4.2 Procédés par énergie radiante

On sait que l'énergie radiante peut favoriser le déroulement d'une réaction chimique. Ce principe peut donc s'appliquer à la destruction des PCB. On étudie à l'heure actuelle un certain nombre de procédés où la réaction est amorcée sous l'effet du rayonnement. Dans ces cas là, l'énergie radiante agit directement sur la molécule de PCB ou sur un autre composé qui intervient par la suite sur la molécule de PCB à proprement parler. Dans les deux cas, la température n'est pas un facteur critique, étant donné que ces procédés se déroulent à des températures variant entre la température ambiante et la température de fractionnement moléculaire.

4.4.2.1 Réacteur Thagard à haute température à paroi fluide

Siège social: Thagard Research Corporation
2712 Kelvin Avenue
Irvine, California 92714

Responsable: E. Matovich
(714) 556-4470

Le réacteur à haute température à paroi fluide est une application du procédé par énergie radiante, étant donné que le réacteur est activé par une série de tiges en carbone chauffées à haute température par courant électrique de façon à émettre un rayonnement infrarouge. Selon la description donnée ci-après, ce rayonnement est concentré sur les déchets contaminés contenus dans le tube poreux. Le tube qui laisse passer les rayons infrarouges est protégé des déchets chauffés par un écran de gaz qu'on fait s'écouler sur la surface du tube.

La configuration du réacteur est illustrée à la figure 10. Le réacteur comporte un cylindre à chemise isolée qui compte d'habitude un diamètre de 30 cm. À l'intérieur du cylindre sont logées six électrodes en carbone disposées selon la figure 11. Lorsque ces électrodes sont chauffées à l'électricité à près de 2000 °C, elles émettent un rayonnement infrarouge. Les parois intérieures du réacteur étant tapissées d'isolant et d'un bouclier thermique, le rayonnement est réfléchi vers le centre du réacteur.

Un tube poreux en céramique qui permet le passage des radiations infrarouges parcourt le centre du cylindre dans le sens de la longueur. À l'intérieur de ce cylindre, l'énergie est absorbée par une boue de particules en carbone contenues dans les déchets. L'énergie absorbée produit une augmentation de la température en surface qui entraîne la décomposition des molécules de déchets en fragments moléculaires simples qui, dans le cas des PCB, sont constitués comme suit: HCl, CO, CO_2, CH_4 et H_2 (il peut être nécessaire d'ajouter de l'eau pour assurer la présence suffisante d'hydrogène et d'oxygène pour la production de gaz). L'intérieur du réacteur est plongé dans un bain d'azote qui traverse le centre poreux du réacteur et forme une couche fluide à l'intérieur du tube de réaction pour empêcher le contact avec les déchets chauffés.

Ce procédé en est aux premières phases de mise au point. Un réacteur de 30 cm par 9 m a été mis à l'essai avec du hexachlorobenzène; des essais aux PCB, sous la direction de la EPA des États-Unis, sont prévus pour la fin de l'année 1982. La société a consacré près de cinq ans à la mise au point du réacteur et à la démonstration du procédé chimique.

Le réacteur sera probablement en mesure de traiter les déchets solides et liquides à condition que les déchets solides de PCB soient broyés assez finement. On projette d'ajouter de la chaux et de la silice pour neutraliser le HCl produit et immobiliser les cendres dans un état vitreux. Les sous-produits de cette pyrolyse à haute température sont constitués de simples

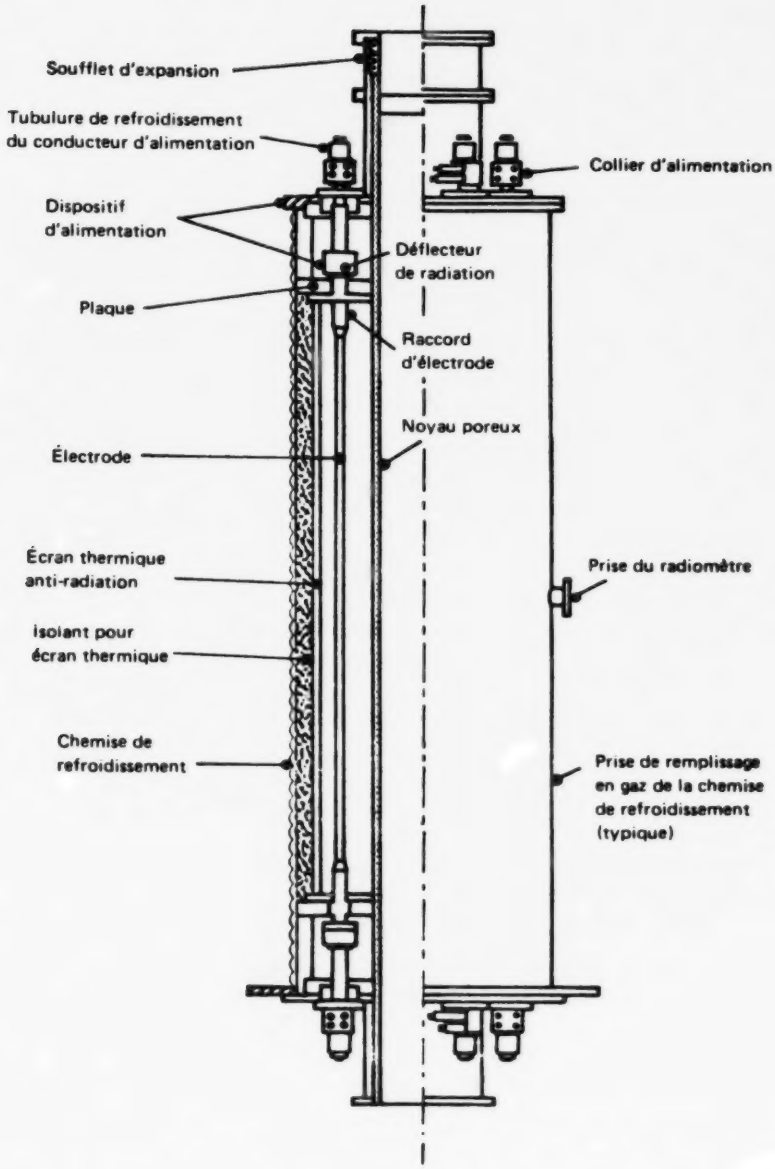


Figure 10 Coupe verticale d'un réacteur typique à paroi liquide (Thagard Research Corp., 1981)

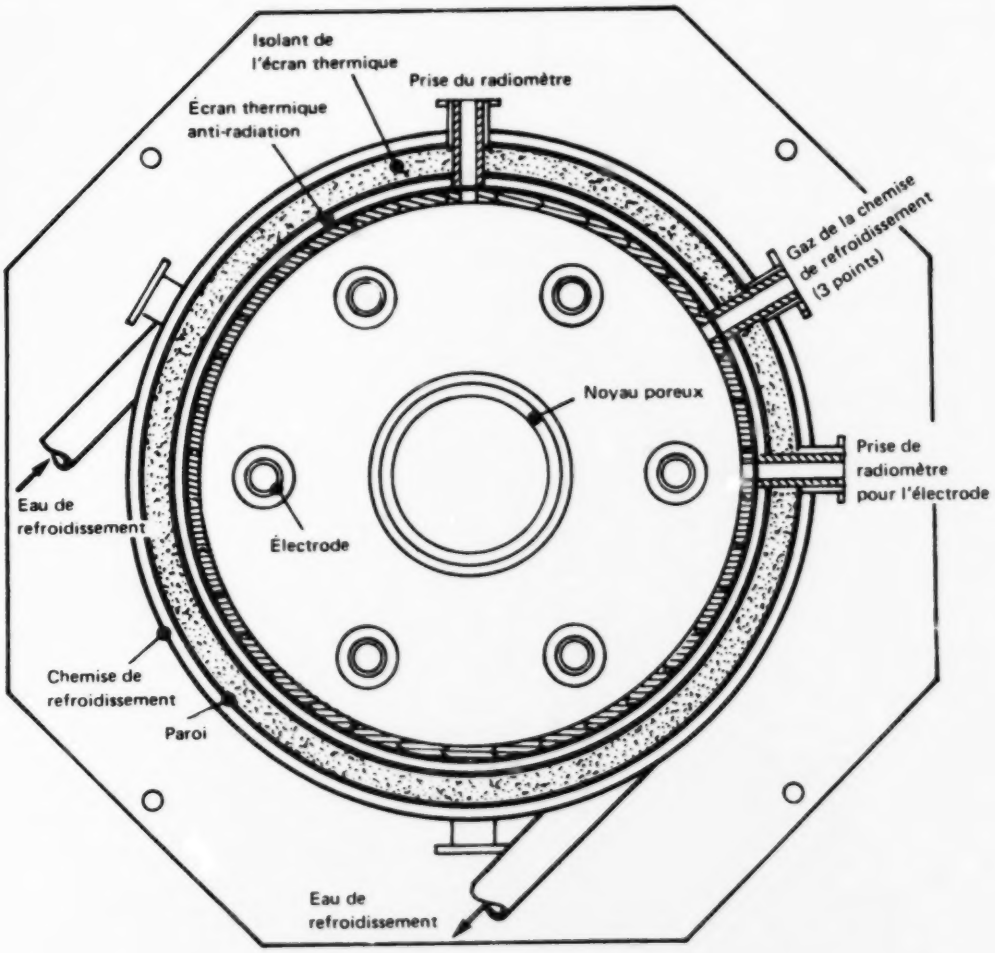


Figure 11 Section horizontale d'un réacteur typique à paroi liquide (Thagard Research Corp., 1981)

molécules de gaz qui peuvent être brûlées de façon inoffensive. La compagnie prévoit pouvoir ainsi traiter de 130 à 180 Mg de déchets par jour.

Tel qu'on l'a mentionné précédemment, cette technique est encore au premier stade de développement. Le procédé a été mis à l'essai avec divers types de déchets, y compris un substitut de PCB. Toutefois, un essai aux PCB n'a pas encore été réalisé.

Les coûts d'immobilisation et les frais d'exploitation ainsi que les coûts unitaires sont difficiles à évaluer et ne peuvent pas être précisés dans la présente étude. Les investissements nécessaires pour la construction d'un important système de contrôle de la pollution de l'air peuvent être minimisés étant donné que les gaz produits s'échappent à faible température; cependant, la puissance électrique que nécessite ce procédé pourrait augmenter considérablement les frais d'exploitation.

Ce type de réacteur, ayant des noyaux cylindriques d'un diamètre allant jusqu'à 120 cm, est à l'étude pour le traitement de 150 à 250 Mg/jour de déchets toxiques. À l'exception du réacteur, l'équipement qui doit accompagner les gros réacteurs est facilement disponible sur le marché. On peut par exemple se procurer directement les pompes d'eau de refroidissement.

Les répercussions possibles sur le personnel et l'environnement ne peuvent donc être évaluées qu'après la construction et la mise à l'essai de réacteurs aux dimensions réelles. L'EPA des États-Unis est favorable au projet et doit subventionner d'autres essais de traitement de déchets qui sont prévus pour le printemps de 1982. Références: Thagard Research Corp., 1981; Opplet, 1981.

4.4.2.2 Procédé de pyrolyse par arc au plasma

Siège social: Royal Military College
Département de génie civil
Kingston (Ontario)

Responsable: Dr. T.G. Barton
(613) 545-7395

Le procédé de pyrolyse par arc au plasma se sert de l'énergie des molécules de gaz ionisé pour entraîner la désintégration des molécules de PCB. Les molécules de gaz ionisé du plasma sont créées par le passage d'un courant électrique dans un vortex collimaté de gaz à basse pression. À mesure que les molécules de gaz ionisé se décomposent, il se fait un transfert d'énergie à la molécule de PCB de diverses façons. Le rayonnement ultraviolet qui se dégage de la décomposition des gaz ionisés constitue l'un des principaux mécanismes de transfert d'énergie; c'est la raison pour laquelle ce procédé entre dans la catégorie des procédés à énergie radiante.

Le générateur de plasma, appelé chalumeau à plasma, constitue la principale innovation de ce procédé de pyrolyse par arc au plasma. Ce dispositif crée le vortex torroïdal de gaz à basse pression que parcourt le courant électrique entraînant la création du plasma. Le chalumeau constitue une des électrodes du système et le creuset au fond du réacteur constitue l'autre électrode (voir la figure 12). Le chalumeau est alimenté par un courant électrique de 1000 V à un maximum de 300 A. La température du plasma atteint 50 000 K.

Le volume de gaz qui alimente le chalumeau n'est qu'une fraction (> de 5 p. cent) du volume nécessaire à la combustion des déchets. La composition des gaz n'est pas critique. Les PCB contenus dans les déchets sont soumis à la pyrolyse; les principaux produits de la réaction sont des molécules de CO, CO_2 HCl, H_2, H_2O etc. Le procédé nécessite une puissance typique de l'ordre de 1,26 MJ/kg de déchets de PCB avec des températures résultantes de l'ordre de 1110 K.

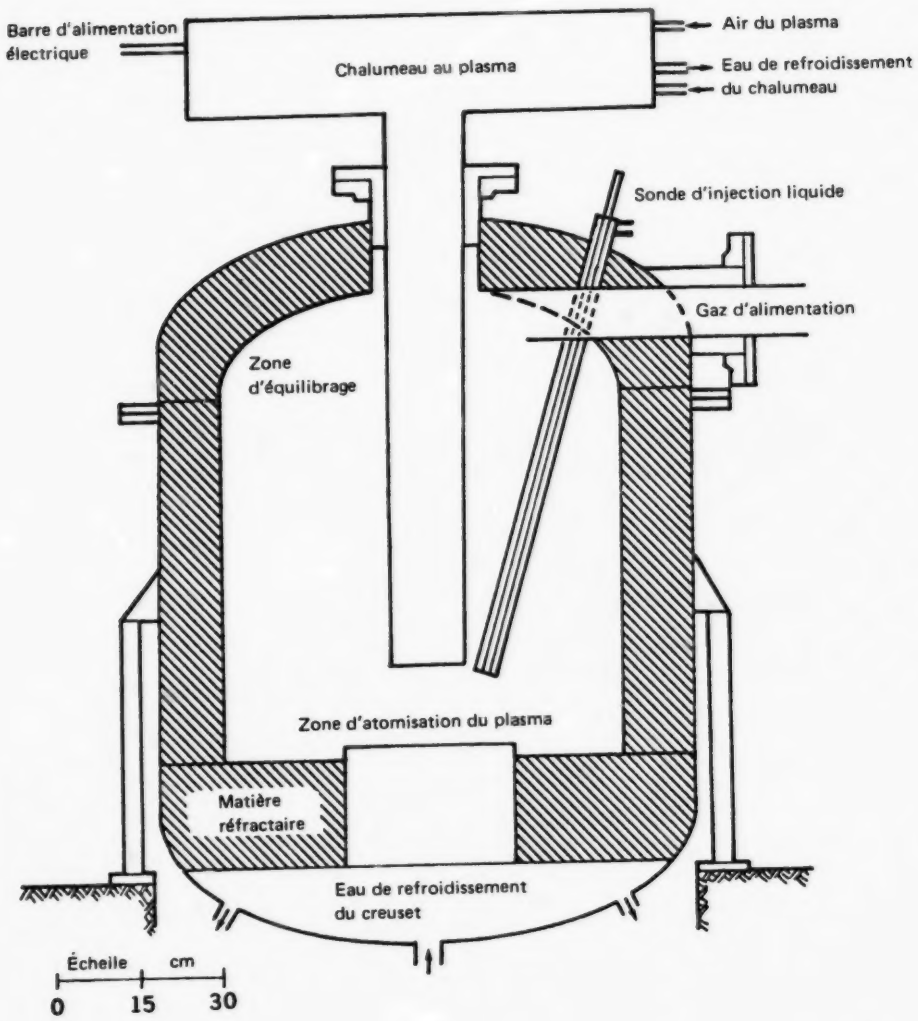


Figure 12 Schéma du réacteur à arc à plasma (Royal Military College, mars 1982)

Les essais entrepris à l'heure actuelle tentent de fixer le rendement de destruction du réacteur. Les PCB sont injectés dans le creuset du réacteur. Certains travaux précédents ont donné un rendement destructif supérieur à 99 p. cent.

Le procédé a été conçu et mis à l'essai pour le traitement des déchets non solides contaminés aux PCB; la destruction de déchets solides doit donc faire l'objet d'autres essais. La capacité de traitement doit se situer entre 100 et 1000 kg/h.

Les coûts d'immobilisation que nécessite un réacteur capable de décontaminer un fluide contenant des PCB à raison de 15 kg/min sont estimés à près de $700 000 pour un système qui comporte les éléments suivants: alimentation électrique de 600 kW, épurateur, compresseur d'air, système de refroidissement à l'eau, système de traitement de l'eau, système d'alimentation, bâtiments et laboratoires.

Le principal élément des frais d'exploitation est constitué par la main d'oeuvre: ouvriers et superviseurs, dont le salaire, ajouté aux frais d'investissement atteint environ $1 200 000 par an. Ce chiffre est basé sur une exploitation se faisant 7 jours par semaine par 4 équipes et des services de déchargement et d'entreposage disponibles 40 heures par semaine. Le prix de revient unitaire de la décontamination sur une période d'un an s'élèverait à $0.26/kg.

Les divers éléments de l'ensemble sont facilement disponibles, à l'exception du terrain qui n'est pas compris dans les frais d'immobilisation présentés ci-haut.

On pourrait réduire le prix de revient, si les opérations pouvaient se dérouler sur place, c'est-à-dire si le réacteur à plasma et ses accessoires pouvaient être montés sur camion-remorque. Afin d'augmenter la capacité de traitement d'un système donné, plusieurs modules de même capacité (15 kg/min) pourraient exploités simultanément, évitant ainsi la nécessité d'avoir un réacteur de plus grande capacité.

On ne prévoit que des répercussions minimes sur l'environnement. Les gaz émis (sous-produits) pourraient être brûlés à la torche et les résidus solides seraient probablement constitués de matières inorganiques inertes. Les risques d'accidents de travail seraient les mêmes que pour toute autre installation de traitement de produits dangereux.

Les résultats des essais de destruction des PCB soumis aux autorités compétentes de l'Ontario en mars 1982 sont disponibles. "Les essais à l'Aroclor et à l'Askarel ayant une teneur maximale en chlore de 58 p. cent ont permis d'obtenir un rendement destructeur de 99,9999 p. cent, sans présence de dioxine comme sous-produits. Ces résultats ont été confirmés par les services de laboratoire d'Environnement Canada." Références: Dobson, 1980, EPRI, 1981.

4.4.2.3 Procédé de catalyse à micro-ondes

Adresse: Queen's University
Department of Chemistry
Kingston (Ontario)

Responsable: Dr. J. Wan
(613) 547-6180

Le procédé de catalyse à micro-ondes pour la destruction des PCB se sert d'impulsions successives de courte durée de micro-ondes pour activer les molécules de PCB et d'oxygène qui se trouvent sur une surface métallique. Les molécules réagissent pour produire du CO_2, du H_2O et un chlorure métallique.

Les catalyseurs métalliques constituent l'élément primordial du procédé. Une demande de brevet ayant été déposée, la constitution exacte des catalyseurs n'est pas divulguée. Les catalyseurs sont suspendus dans un bain liquide fluidisé par la recirculation d'oxygène pur ou d'air (deux atmosphères). Les PCB sont admis dans le système et se déposent principalement sur la surface du catalyseur. Des micro-ondes à haute énergie (> 2 kW) sont dirigés sur le catalyseur en impulsions courtes (moins d'une seconde). L'énergie est absorbée en surface et transmise au O_2 et aux molécules de PCB absorbées pour les activer et amorcer leur réaction avec les produits présents. La fréquence d'impulsions se situe entre 10 à 15 secondes de façon à ce que la température du procédé n'augmente que de 10 à 15 °C par rapport à la température ambiante. On estime à 50 p. cent le rendement énergétique du procédé.

Le procédé est en cours d'étude en laboratoire. Le rendement destructif des PCB, basé sur la récupération du chlorure, se situe à plus de 90 p. cent. On doit poursuivre le perfectionnement du procédé à l'université Queen's pour mettre au point les détails techniques. L'objet du procédé est la récupération des hydrocarbures des sables bitumineux; les dispositifs ainsi mis au point doivent donc pouvoir traiter des matières solides. Les possibilités qu'offre ce procédé pour le traitement des déchets solides des PCB seront donc étudiées à fond.

Étant donné la nouveauté de cette technique et le peu de travaux réalisés hors des études en laboratoire, il est trop tôt pour en évaluer les répercussions sur l'environnement et pour énoncer le point de vue des organismes de réglementation. Il reste aussi à établir les coûts et les applications techniques par des études expérimentales. Références: Spencer, 1982; Wan, renseignements personnels, 1982.

4.4.2.4 Procédé par irradiation du plasma aux micro-ondes

Adresse : Chemistry Research
Lockheed Palo Alto Research
Laboratory
Orgn. 52-35, Bldg. 204
3251 Hanover Street
Palo Alto, California 94304

Responsable: Dr. E.L. Littauer, Manager
(415) 493-4411

Lockheed avait entrepris la mise au point des techniques d'irradiation du plasma aux micro-ondes avec l'appui financier de l'EPA des États-Unis et de la Canadian Electrical Association. Ces études ont été affectées par les récentes réductions des subventions. Lockheed a interrompu les travaux portant sur ce procédé et n'a pas l'intention de les poursuivre à ses propres frais.

Le procédé Lockheed d'irradiation du plasma aux micro-ondes a fait l'objet de nombreuses discussions dans le domaine de la destruction des PCB. Le présent rapport se limite donc à ces quelques remarques.

Le procédé consiste à réaliser l'irradiation et l'activation de l'oxygène à basse pression (0,1 atmosphère) par des micro-ondes. Les PCB exposés aux radiations se combinent avec l'oxygène actif pour produire du CO_2, du HCl et du H_2O.

4.4.2.5 Procédé de réduction chimique sous l'effet de la lumière

Adresse: Atlantic Research Corporation
Alexandria, Virginia

Responsable: Judith F. Kitchens
Manager Environmental Sciences
and Engineering Division

Le procédé de réduction chimique sous l'effet de la lumière (Light Activated Reduction of Chemicals: LARC) est un procédé breveté (brevet US 4 144 152) pour la destruction des produits organiques halogènes sous l'effet du rayonnement ultra-violet. Ce procédé se sert de l'ultra-violet dans la gamme 1850-4000 Å, combiné avec le gaz hydrogène pour réaliser la déshalogénation des molécules organiques chlorées.

Les recherches se sont déroulées avec deux réacteurs LARC, soit un réacteur tubulaire à une seule lampe et un réacteur pilote à 64 lampes. Les deux réacteurs comportent des lampes à ultra-violet à basse pression dont 95 p. cent du rendement se situe à 2537 Å. L'hydrogène à l'état gazeux est introduit dans le réacteur par des tuyaux perforés de 2,0 μ en acier inoxydable fritté.

TABLEAU 8
Paramètres du réacteur

	Réacteur tubulaire	Réacteur expérimental
Nombre de lampes	1	64
Capacité	600 ml	40 l
Longueur du rayonnement	5,33 mm	6,35 mm
Énergie radiante à la surface de la douille de lampe	36 300 $\mu W/cm^2$	29 400 $\mu W/cm^2$
Débit d'hydrogène	0,26 l/min	1,9 l/min
Type de fonctionnement	Débit continu ou recyclage par lots	Débit continu ou recyclage par lots

La lumière ultra-violette amorce le processus photochimique par la rupture homolytique de la liaison carbone-chlorure de la molécule de PCB. Pour maximiser la réalisation de cette rupture et la formation résultante carbone-hydrogène, il faut adopter une longueur d'onde ultra-violette plus courte, des températures plus élevées et augmenter le débit d'hydrogène ainsi que la turbulence. Les PCB sont admis dans le réacteur et y sont retenus pendant plus de 20 minutes afin d'assurer le déroulement de la réaction. Le fluide est par la suite analysé par chromatographie en phase gazeuse pour déterminer la dégradation des PCB. La réaction se poursuit jusqu'à ce que la déchloruration souhaitée soit réalisée.

Le réacteur LARC est en mesure d'effectuer la déchloruration des PCB, des huiles usées contaminées aux PCB et des Aroclors extraits du sol par isopropanol. On compte parmi

les produits de dégradation provenant du procédé LARC, l'hydrogène, le chlore et les biphényles. La présence de fortes concentrations de biphényles nuisent à la réaction; on peut cependant extraire le chlorure d'hydrogène et les biphényles par distillation.

Au cours d'un essai à l'Aroclor 1254 et 1260, il a été démontré que le taux de dégradation initial pouvait être augmenté avec un accroissement de la chloruration. Une dégradation plus importante a été réalisée dans le réacteur expérimental par rapport au réacteur à lampe unique grâce à l'augmentation du flux lumineux et à l'optimisation de la température et de l'écoulement. Il s'est produit une baisse du taux initial vers la fin de la période de réaction à cause de la formation de biphényles qui absorbaient une partie grandissante du rayonnement ultra-violet. Pour le procédé commercial, il faudrait pouvoir retirer les biphényles afin d'améliorer le rendement de la réaction et obtenir un taux de destruction supérieur aux 85 p. cent réalisés en cours d'essai. Les essais ont permis de démontrer que la concentration initiale maximale de PCB que peut traiter ce procédé est de 3500 ppm.

Avant de pouvoir traiter les huiles usées contaminées aux PCB par le procédé LARC, il faut pouvoir extraire du liquide les produits de dégradation de l'huile susceptibles d'absorber le rayonnement ultra-violet, ce qui peut être réalisé avec de la terre à foulon ou d'un autre milieu chromatographique. Il faut alors se servir d'un diluant pour réduire la viscosité de l'huile et faciliter la dispersion de l'hydrogène dans l'huile.

Des essais ont été réalisés avec des fluides comptant 1000 à 2000 ppm de PCB. La présence des diluants a permis la destruction plus rapide des PCB que dans le cas des huiles non diluées. Le taux de dégradation initial plus élevé a été obtenu avec un diluant à l'huile, au tétrahydrofuranne et à l'isopropanol.

Le réacteur expérimental est encore en cours de mise au point et il est nécessaire d'effectuer d'autres essais et d'autres études de faisabilité avant de passer à la version grandeur réelle. Étant donné le traitement simple par lots, le procédé doit être confié à des exploitants à faible ou moyenne spécialisation. Cependant, en cas de fonctionnement en continu, les techniques utilisées pourraient être bien plus raffinées.

Les descriptions obtenues étant fragmentaires et peu précises, il n'a pas été possible d'élaborer des évaluations précises des coûts. On peut s'attendre que le coût des réservoirs, des pompes, des convoyeurs, des mélangeurs, des trémies, de la colonne de distillation et du réacteur s'élève à un peu plus que $1 000 000 si l'usine-pilote est destinée à la destruction des PCB en série. On pourrait inclure dans ce chiffre le coût de la tuyauterie et de l'instrumentation, mais non le coût des terrains.

Les coûts d'exploitation estimés pourraient s'élever à près de $1 200 000. Si l'on se fonde sur un taux d'exploitation de 85 p. cent, 24 heures par jour et 310 jours par an, le prix de revient estimé serait de $1.38/kg de PCB détruits.

L'usage du procédé LARC à l'échelle commerciale doit faire l'objet d'une analyse plus approfondie avant que l'on ne puisse évaluer les répercussions possibles sur l'environnement.

Ce procédé a fait l'objet d'un brevet aux États-Unis et les essais se poursuivent dans une usine-pilote. Le procédé n'est pas encore disponible dans le commerce et la position de l'EPA des États-Unis n'est pas connue. Références: Kitchens et coll., EPRI 1981.

4.4.2.6 Autres techniques de dégradation par lumière ultra-violette

Plusieurs autres sociétés se sont penchées sur l'utilisation du rayonnement ultra-violet comme procédé de déchloruration photochimique des PCB. Dans tous les cas, les résultats ont

révélé que le rayonnement ultra-violet à lui seul ne suffisait pas pour réaliser la déchloruration complète des PCB, selon les critères établis par le gouvernement.

Vertac Chemical Company, Memphis, Tennessee

La société Vertac a mis au point un procédé de photolyse par rayonnement ultra-violet pour la destruction des déchets contaminés au 2, 3, 7, 8-tétrachlorodibenzoparadioxine (TCDD). Il a été établi que ce procédé peut aussi servir à la déchloruration des PCB. Les travaux ont cependant été interrompus et on attend une révision d'un ordre de la EPA mettant un terme à tous les travaux et toutes les recherches portant sur ce procédé. Références: EPA, 1982; Weitzamn and Pruce, 1981.

Pure Water Systems Inc.

Adresse: Pure Water Systems Inc.
4 Edison Place
Fairfield, N.J. 07006

Responsable: Tom Creeden
(201) 575-8750

La société Pure Water Systems (PWS) vient de terminer des essais en laboratoire qui permettent de penser que leur système de purification à l'ultra-violet pourrait constituer un moyen efficace et peu coûteux de détruire les PCB. PWS a fait breveter un équipement de traitement qui permet de maximiser l'intensité de la source de rayonnement ultra-violet par l'usage de films minces et de dispositifs de nettoyage automatique des lampes à ultra-violet.

Le traitement de petites quantités de produits contaminés qui sont recyclés à plusieurs reprises dans le système permet de réaliser la déshalogénation d'une solution de PCB à 1000 ppm et de la réduire à moins de 50 ppm. Le biphényle constitue le sous-produit de la réaction et il est possible de traiter 380 l de liquide contaminé aux PCB pour moins de 10 dollars.

La société a l'intention de monter le système sur une plate-forme mobile pour éviter d'avoir à transporter les PCB à l'usine principale de PWS. Référence: Hazardous Material Intelligence Report, 1982.

The Oxyphoton Process

Adresse: Bioferm International
Medford Medical Bldg.,
Stokes Road
Medford, New Jersey 08055

Responsable: Howard E. Worne
(609) 953-1125

Selon le procédé Oxyphoton®, les déchets liquides contaminés aux PCB et renfermant un catalyseur spécial sont injectés sous forme pulvérisée et mélangés sous pression avec un jet d'oxygène ayant une teneur de 1 à 2 p. cent d'ozone. Cette solution traverse ensuite un plasma à ultra-violet à haute intensité (2300-2750Å). Le catalyseur à photo-oxydation provoque une

série de réactions chimiques et subdivise le PCB en fragments de masse moléculaire inférieure. En dernière étape, les effluents sont amenés à un pH de 6,8 à 7,2. Les effluents passent ensuite par un traitement ordinaire pour déchets biologiques.

On ne connaît pas l'état des travaux relatifs à la mise au point du procédé Oxyphoton®, ni la concentration de PCB dans les huiles usées que le procédé est en mesure de traiter. Références: Worne Biochemicals Inc.; Eco/Log Week, 1981.

4.4.3 Procédés par oxydation

L'incinération des PCB selon des techniques classiques ou nouvelles entraîne l'oxydation et la formation de CO_2, de H_2O et de HCl. L'oxydation est plus ou moins complète selon la température, la solubilité des PCB dans le solvant et la solubilité de l'oxydant.

Étant donné la stabilité chimique des PCB, le seul solvant utilisable est l'eau et le seul oxydant est l'oxygène. Le chlore a servi d'oxydant pour certains travaux qui se sont déroulés en Europe (le sous-produit étant le CCl_4) mais ce concept ne semble pas avoir été appliqué en Amérique du Nord.

À mesure que la température de traitement baisse, la destruction des PCB devient plus difficile et il faut alors se servir de catalyseur ou prolonger les temps de séjour. On décrit ci-après un des procédés qui a donné des résultats particulièrement satisfaisants: le procédé supercritique à l'eau de Modar Inc. On donne aussi une description générale des autres procédés. On suppose que les coûts relatifs à ces procédés sont comparables. Le procédé Modar comporte un coût moindre grâce à la destruction complète des PCB et à la réduction du temps de séjour; cependant, cet avantage pourrait être annulé par la nécessité d'utiliser un équipement de traitement plus résistant.

4.4.3.1 Procédé supercritique à l'eau de la société Modar

Siège social: Modar Incorporated
14 Tech Circle
Natick, MA 01760

Responsable: Michael Modell
(617) 655-7741

Le procédé supercritique à l'eau de la société Modar (SWP) utilise l'air ou l'oxygène comme agent oxydant dans un milieu aqueux à une température supérieure à la température critique de l'eau, 374 °C, et à une pression supérieure à la pression critique de l'eau, soit 218 atmosphères. Dans ces conditions, les hydrocarbures et l'oxygène sont presque complètement miscibles avec l'eau et les produits non organiques sont généralement insolubles.

Le concept Modar (schéma de la figure 13) qui a fait l'objet d'essais en laboratoire, nécessite la conversion des déchets en boue et l'éjection dans le réacteur SWP. La chaleur dégagée par l'oxydation provoque l'admission des déchets dans le réacteur et produit la vapeur qui contribue à l'alimentation et à la mise sous pression de l'oxydant. Une base vient s'ajouter au système (non illustré) de façon à ce que le HCl produit en cours d'oxydation puisse être neutralisé et rejeté dans un séparateur de sels. Avec un temps de séjour de moins d'une minute dans l'oxydant, le rendement de destruction des hydrocarbures se situe à plus de 99,99 p. cent pour les hydrocarbures typiques.

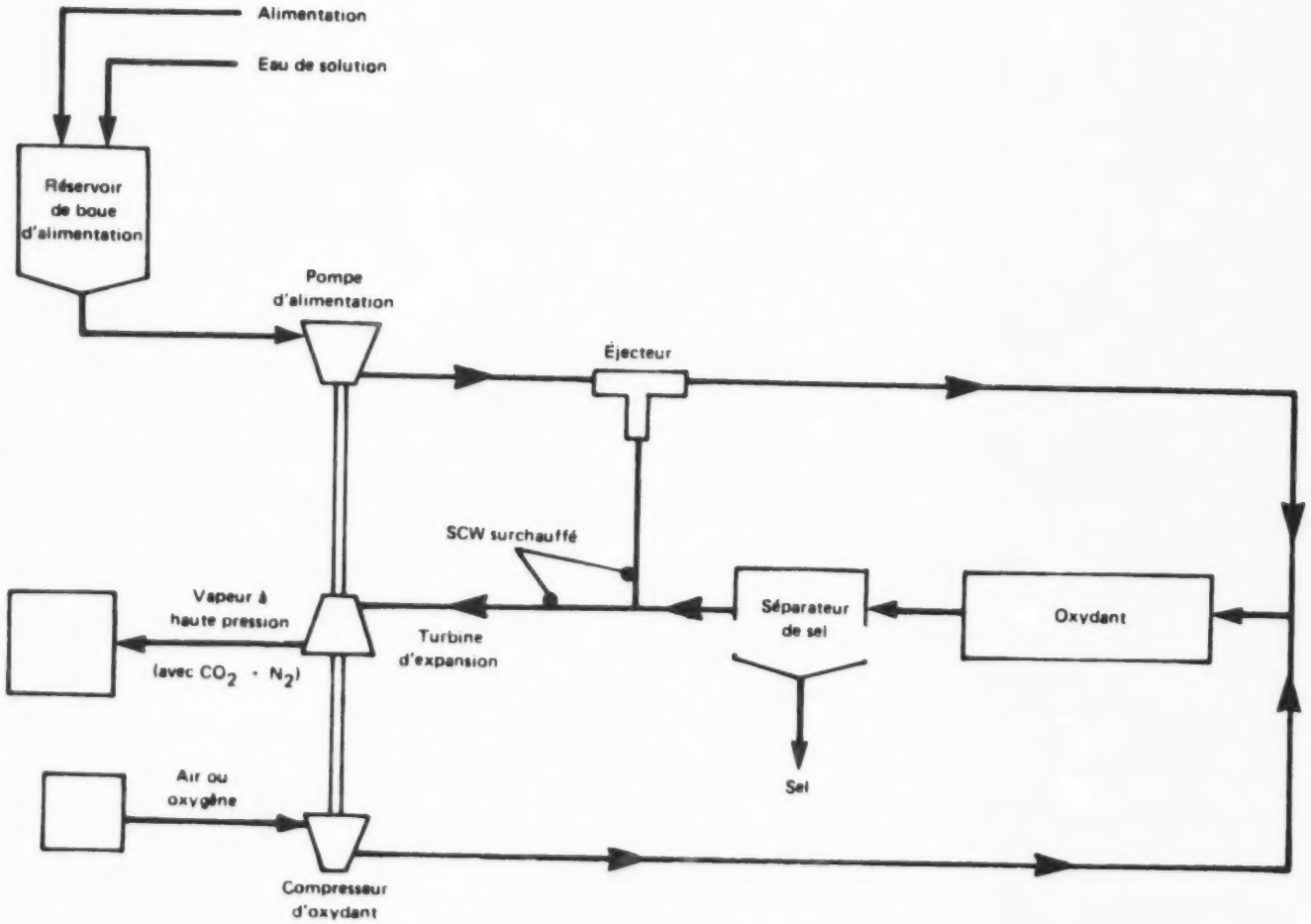


Figure 13 Schéma du procédé supercritique à l'eau de Modar (Oppelt, 1981)

Tel que mentionné précédemment, ce procédé n'a été démontré qu'en laboratoire à un débit de matières organiques de 4 l/jour. Cependant, la société Modar, avec la collaboration d'autres organismes a entrepris la construction d'un réacteur expérimental capable de traiter 190 l/jour.

Le procédé étant encore à l'étape d'essai au banc, il est difficile d'établir les coûts d'une exploitation commerciale. Pour une usine pouvant traiter 10 000 l/jour, l'investissement minimal serait d'environ $5 200 000 (U.S.). Le prix de revient minimal serait de $0.13 à $0.53 pour chaque kilogramme de PCB liquide détruit dans le réacteur. Ce procédé de destruction des PCB est encore au premier stade de mise au point; sa fiabilité mécanique à échelle commerciale reste encore à prouver. Cette technique a été testée au banc pendant les deux dernières années et des essais pratiques en usine-pilote sont prévus en 1982-1983.

Les répercussions que pourrait avoir ce procédé ne peuvent pas être prévues pour le moment. Cependant, la faible quantité d'effluents produits par ce procédé présente un avantage, sur le plan de l'environnement. On ne trouve à la sortie du réacteur que des sels, du H_2O, du CO_2 et une petite quantité de matière organique. Les sels sont dilués dans le liquide supercritique et l'oxygène et devraient pouvoir être éliminés par les moyens ordinaires. (Le liquide sortant du réacteur à oxydant renferme aussi du N_2 si l'air a servi d'oxydant). Les matières organiques d'alimentation peuvent être à très faible concentration dans le liquide de sortie par contrôle des conditions de réaction dans l'oxydant. Des matières organiques relativement réfractaires, comme le PCB et autres hydrocarbures chlorés ont été détruits avec un rendement de l'ordre de 99,99 à 99,999 p. cent, avec des temps de séjour d'une minute ou moins dans l'oxydant. Référence: Oppelt, 1981.

4.4.3.2 Procédé d'oxydation par voie humide WETOX®

Adresse: WetCom Engineering Limited
222 Midwest Road
Scarborough (Ontario)
M1P 3A9

Responsable: Paul Gooderham
(416) 759-8595

Le procédé WETOX® se sert de l'oxydation à l'air dans l'eau à température moyenne variant de 150 à 250 °C, appelé oxydation par voie humide. Les déchets sont oxydés pour former de l'eau, du CO_2, des acides organiques et des alcools. Le procédé se déroule dans un réacteur de forme cylindrique allongée comportant quatre compartiments agitateurs. La chaleur dégagée par l'oxydation des déchets est récupérée et recyclée.

Cette technique bien au point a été utilisée sous diverses versions (exemple: procédé Zimpro) depuis plusieurs années. Les déchets traités sont des matières organiques assez facilement oxydables. Le procédé a été mis au point par la Michigan Technological University, à Hougton, au Michigan et par la Ontario Research Foundation qui a d'ailleurs construit une unité mobile du type WETOX® montée sur camion. La Ontario Research Foundation avait entrepris l'évaluation du procédé WETOX® pour la destruction des PCB. Les résultats obtenus n'ont pas été encourageants, étant donné que le rendement de destruction se situait entre 50 et 70 p. cent. Les températures élevées (jusqu'à 250 °C) et les délais de traitement par l'eau n'ont pas convenu à l'équipement ORF. Les travaux ont été abandonnés par suite de difficultés politiques sans

rapport avec le procédé à proprement parler. La Michigan Technological University a néanmoins mis le procédé à l'essai avec des PCB, à des températures plus élevées, et a obtenu certains résultats encourageants. Référence: Johnston and Wetcom Engineering.

4.4.3.3 Oxydation catalysée par voie humide, IT Enviroscience

Siège social: IT Enviroscience
9041 Executive Park Drie
Xnoxville, TN 37919

Responsable: J. Exner
(615) 690-3211

IT Enviroscience a mis au point un procédé d'oxydation catalysée par voie humide ayant des températures de traitement moins élevées et un réacteur de configuration différente que celle du procédé WETOX®. Le procédé a été mis au point par usine aux dimensions réduites et selon un traitement par lots ou par combinaison d'un traitement continu et par lots. Le rendement de destruction est plus élevé qu'avec l'appareil WETOX® puisqu'il atteignait plus de 99 p. cent à l'usine de dimensions réduites.

Selon une étude commanditée par Ontario Hydro, le rendement de destruction s'avère convenable, étant donné qu'on fait état d'un coût de traitement total des déchets situé entre 4 et 5 dollars/kg (U.S., 1979, immobilisations et frais d'exploitation). Références: L.E. Johnston et IT Enviroscience.

4.5 Procédés physico-chimiques

Contrairement à tous les autres procédés mentionnés précédemment, les procédés physico-chimiques de traitement des PCB ne constituent pas à proprement parler des traitements ni des procédés de destruction. Pour toutes ces techniques, les PCB sont extraits des transformateurs et remplacés par d'autres fluides, ce qui n'élimine pas le problème des PCB qu'on ne fait que transvaser. Il faut donc pouvoir encore traiter ou éliminer les PCB par un moyen approprié.

Ces procédés "d'extraction" utilisent des méthodes chimiques ou physiques bien connues et bien éprouvées pour l'extraction de matières organiques d'un autre milieu. Ces méthodes vont du simple procédé physique de vidange de transformateurs renfermant des PCB et du remplissage par un autre fluide diélectrique sans teneur en PCB, jusqu'aux procédés chimiques complexes, comme la distillation des PCB provenant du fluide pour transformateurs ou de la destruction des condensateurs.

Il existe une centaine de sociétés aux États-Unis et quatre ou cinq sociétés au Canada qui se spécialisent dans l'extraction des fluides contaminés aux PCB provenant des transformateurs. Un grand nombre de ces sociétés offrent des services d'entretien ou de maintenance et ne s'occupent de l'extraction des PCB provenant de transformateurs que lorsqu'il y a risque de fuite ou des difficultés de fonctionnement. Ces sociétés n'engagent généralement pas leurs responsabilités pour le traitement, la destruction et l'élimination des PCB après extraction. Certaines autres sociétés, comme la SED Inc. aux Etats-Unis, se spécialisent dans l'extraction des PCB provenant des transformateurs et se chargent de l'élimination des PCB selon les méthodes approuvées par les agences du gouvernement.

4.5.1 Sociétés spécialisées dans l'extraction physico-chimique

	Société	Type de procédé
–	SED Inc. Box 1306 Waukesha, Wisconsin	Extraction physico-chimique et élimination éventuelle
–	Transformer Service Inc. Concord, New Hamphsire	Extraction physico-chimique
–	Transformer Consultants P.O. Box 3575 Akron, Ohio	Extraction physico-chimique
• –	D & D Group Smithville, Ontario	Extraction physico-chimique et traitement par l'usine D & D ou transport aux États-Unis pour traitement
• –	G.T. Wood Co. Ltd. 2552 Wharton Glen Mississauga, Ontario	Traitement physico-chimique et transport aux États-Unis pour traitement
–	Kinetic Transport Systems P.O. Box 1037 Leduc, Alberta	Extraction physico-chimique et entreposage
–	Canadian General Electric Service	Extraction physico-chimique

• La possibilité d'effectuer le transport aux États-Unis pour fin de traitement dépend de la décision imminente des gouvernements américains et canadiens relativement à la réouverture des frontières pour le transport des PCB.

Toutes les sociétés énumérées sont autorisées à manutentionner les PCB.

4.6 Décomposition des PCB par substances bactériennes

L'analyse des essais de décomposition des PCB par substances bactériennes démontre que ce type de procédé présente un intérêt limité compte tenu, entre autres, des temps de séjour trop longs. On donne ci-après une brève explication des procédés de décomposition par substances bactériennes.

Les PCB résistent fortement à l'hydrolyse et à l'oxydation par acides et bases. Cette stabilité varie selon la position des substitutions de chlorure, mais s'accroît avec une augmentation du contenu en chlorure.

La relation structurale existe aussi en ce qui concerne la résistance des PCB à la décomposition par substances bactériennes. Les mono et les dichlorobiphényles sont facilement biodégradables dans un milieu de boues bactériennes en l'espace de quelques jours à faible concentration. Les concentrations plus fortes nécessitent plus de temps. Les trichlorobiphényles se décomposent plus lentement alors que les tétrachlorobiphényles ne sont que peu affectés et les pentachlorobiphényles ne sont pas affectés du tout.

La relation entre la structure et la stabilité est confirmée par le fractionnement des Aroclors dans les sols, les isomères moins chlorés disparaissant les premiers. Les isomères PCB peuvent être catégorisés selon le taux de décomposition comme suit:

Groupe A

Espèces renfermant deux atomes de chlore ou moins à décomposition rapide, avec une demi-vie de huit jours et une décomposition à 90 p. cent en 15 jours (Aroclor 1221, 1232).

Groupe B

Un grand nombre de tri et de tétrachlorobiphényles, dont la demi-vie peut aller jusqu'à 30 jours, avec décomposition à 90 p. cent en 60 jours ou plus (Aroclor 1242, 1248 et dérivés de 1254).

Groupe C

Pentabiphényles et biphényles de substitution plus élevée, dont la demi-vie dépasse une année (Aroclor 1260 et constituants de 1254).

Il existe peu de données quantitatives au sujet du comportement des biphényles avec sept, huit ou neuf constituants chlorés quoiqu'ils soient perçus comme étant bien plus stables que ceux du groupe C.

La décomposition lente des PCB dans l'environnement peut être dépassée par l'évolution de micro-organismes capables de décomposer des PCB à plus forte constitution chlorée. Il en découle que les sols offrent des possibilités limitées de décomposition des PCB, quoiqu'il existe des possibilités de développement, en particulier par implantation de cultures adaptées aux PCB. Références: Farquhar et Sykes, 1978; Brooks, 1979; Iwata et coll., 1974; Yagi et Sado, 1980; Pat et coll. 1980.

4.6.1 Cultures bactériennes adaptées aux PCB

Adresse: Polybac Corporation
1251 South Cedar Crest Boulevard
Allentown, Pennsylvania 18103

Responsable: Curtis S. McDowell, vice-président

La société Polybac a créé une série de bactéries mutantes capables de décomposer les produits chimiques dans les sols. Une de ces bactéries mutantes peut décomposer les PCB.

La bactérie mutante, qui est cultivée dans les laboratoires de Polybac, est mélangée aux substances contaminées aux PCB avec un agent émulsifiant. On assure le ratissage et le trempage des sols tout le temps de la décomposition des PCB.

Les recherches en laboratoire dont on fait état dans les ouvrages spécialisés ont démontré qu'il était possible de réaliser la biodécomposition de diverses solutions de PCB avec des bactéries. On parvient par exemple à un taux de destruction de 99,8 p. cent pour de l'Aroclor 1254 à 300 ppm en 18 jours. La bactérie mutante Polybac a réussi la décomposition d'un certain nombre d'isomères PCB.

La société Polybac se sert d'autres bactéries mutantes pour la biodécomposition de produits chimiques dans les sols depuis bon nombre d'années. L'étude de l'applicabilité des bactéries mutantes à la décomposition des PCB est très récente et il faut attendre que d'autres essais soient entrepris avant de pouvoir établir le rendement d'un tel procédé.

La décomposition des PCB par action bactérienne est un procédé lent qui ne donne des résultats intéressants que dans le cas des biphényles les moins chlorés, et constitue une solution de rechange peu coûteuse par rapport à la solution excavation-dépotoir. Référence: documentation du fabricant.

RÉFÉRENCES

Ackerman, D. et coll., *Guidelines for the Disposal of PCBs and PCB Items by Thermal Destruction*, TRW Inc. pour EPA des USA, rapport nº 600/2-81-033 (février 1981).

Acurex Corp., *PCB Problem ... Acurex Solution*, Energy and Environment Division, Mt. View, California (février 1981).

American Institute of Chemical Engineers (AICE), *Water – 1979*, présenté au American Institute of Chemical Engineers Symposium Series, vol. 76 (1980).

Conférence annuelle du Southern Electric Exchange, *PCBX – Chemical Destruction of PCBs*, Atlanta, Georgia (avril 1981).

Brooks, R.E., *Microbial PCB Degradation*, précis GE Corp., R&D, Schenectady, New York, (décembre 1979).

Chemical Waste Management Inc., Ocean Incineration – Documentation du fabricant.

Dillon, M.M. Ltd., *Survey of Countermeasures Systems for Hazardous Material Spills*, rapport à Environnement Canada (30 septembre 1981).

Dillon, M.M. Ltd., *Preliminary Socio-Economic Impact Analysis for Transportation of Dangerous Goods Act Regulations: Hazard Assessment – Class 9.2 Commodities and Class 9.3 Wastes*, Environnement Canada (décembre 1981).

Dobson, Capt. R.L., *Destruction of Polychlorinated Biphenyls by Plasma Arc Pyrolysis*, M., thèse de génie, Royal Military College (mai 1980).

Eco/Log Week, "*Oxyphoto Process Claimed Able to Destroy Toxic Organic Compounds*," Eco/Log Week (25 septembre 1981).

ENSCO (Energy Systems Company), *Incineration of PCBs*, Eldoro, Arkansas (6 février 1981).

Environmental Protection Agency (EPA), *Microeconomic Impacts of the Proposed "PCB Band Regulations"*, Rapport 560/6-77-035 (1977).

EPA, PCB Newsletter, Bimonthly Report on PCB Activities and Policies, Régions I-V de l'EPA, Office of Pesticides and Toxic Substances, vol. 4 (15 décembre 1981).

Service de protection (SPE) – *PCB Inventories* (1980-81).

Environmental Protection Agency (EPA), *EPA to Review Dioxin Disposal Guidelines*, Hazardous Materials Intelligence Report, p. 7 (7 janvier 1982).

(EPRI) Electric Power Institute, *Disposal of PCB and PCB-Contaminated Materials*, SCS Consulting Engineers vol. 1, FP-1207, Long Beach, CA (octobre 1979).

EPRI, *Guidelines for Disposal by Thermal Technology* (1979).

EPRI, *PCB Removal from Transformer Oil*, présenté au EPRI, PCB Seminar, Dallas, Texas (décembre 1981).

EPRI, PCB Seminar, *Plasma Pyrolysis of Toxic Wastes*, T.G. Burton, Dallas, Texas (décembre 1981).

EPRI, PCB Seminar, *LARC-New Technology for Disposal of Chemical Waste*, Department of Environmental Science and Engineering, Atlantic Research Corporation, Dallas, Texas (décembre 1981).

EPRI, PCB Seminar, *Sunohio PCBX Process and Field Experience*, Dallas, Texas (décembre 1981).

Evans, G., D&D Group, renseignements personnels (27 octobre 1981 et 25 janvier 1982).

Farquhar, G.J. et J. Sykes, *PCB Behaviour in Soils*, University of Waterloo, pour la Direction de la gestion des déchets, SPE, rapport n° EPS 4-EC-78-7 (octobre 1978).

Franklin Institute Research Laboratory Inc., *The Franklin Institute's Chemical Method for Detoxifying Polychlorinated Biphenyls (PCBs) and Other Toxic Wastes*, Philadelphia, Pennsylvania.

Grantham, L.F., S.J. Yosim, K.M. Barclay et R.L. Gray, *Disposal of PCB and Other Toxic and Hazardous Waste Material by Molten Salt Combustion*, – Rockwell International, présenté au Hazardous Waste Management Seminar (Chemical Institute of Canada) Edmonton (Alberta) (2 novembre 1981).

Gregory, R.C., *Design of Hazardous Waste Incinerators*, Rollins Environmental Services, Chemical Engineering Process, p. 43 (avril 1981).

Goodyear Tire and Rubber Co., *A Safe, Efficient Chemical Disposal Method for Polychlorinated Biphenyls – "PCBs"* (septembre 1980).

Hazardous Materials Intelligence Report, New Jersey, *Company Improves UV PCB Degradation System*, p. 8 (octobre 1980).

Hazardous Materials Intelligence Report, *Washington Firm Acquires Incineration At-Sea Company*, p. 8 (8 janvier 1982).

Iwata, Y., F.A. Gunther, W.E. Westlake, "Uptake of a PCB (Aroclor 1254) from Soil by Carrots Under Field Conditions" *Environmental Contamination and Toxicity*, Vol. II, n° 6, Springer-Verlag New York Inc. (1974).

Johnson, A.J. et coll., *Incineration of Polychlorinated Biphenyl Using A Fluidized Bed Incinerator*, Rockwell International, Rocky Flats Plant, rapport RFP-3271 (18 septembre 1981).

Johnston, L.E., connaissances personnelles (1982).

Jordan, H. "Vulcanus Test Burn 99,999 p. cent Effective", *The Mobile Register*, Mobile Alabama, (5 janvier 1982).

Kitchens, J.F., W.E. Jones, G.L. Anspaach et D.C. Schubert, *LARC for the Destruction of PCBs in Oil and Soil*, Atlantic Research Corporation.

Langheim, J., News Release Rockwell International, Energy System Group, Rocky Flats Plant (juillet 1981).

Macdonald, L.P., D.J. Skinner, F.J. Hopton et G.H. Thomas; *Burning Waste Chlorinated Hydrocarbons in a Cement Kiln*, Direction générale de la pollution des eaux, Service de la protection de l'environnement, Environnement Canada, SPE 4-UP-77-2 (mars 1977).

McGaugh, W., Environmental International Inc., communication personnelle (9 février 1982).

Miille, G.J., *Chemical Decomposition of PCBs in Transformer Fluids: The Acurex Process*, Acurex Waste Technologies Inc., Mt. View, California (1981).

Oppelt, E.T., *Advances in Incineration for Hazardous Material Destruction, US EPA* (Industrial Research Laboratory (Cincinnati); présenté au séminaire sur la gestion des déchets dangereux (Chemical Institute of Canada), Edmonton (Alberta) (3 novembre 1981).

Pat, D., J.B. Weber et M.R. Overcash, "Fate of Polychlorinated Biphenyls (PCBs) in Sort-Plant Systems" *Residue Reviews*, vol. 47, Springer-Verlag New York Inc. (1980).

Pyro-Magnetics – présentation à Environnement Canada, Hull (Québec), (28 juillet 1981); et documentation de la compagnie.

Pytlewski, L.L., K. Krevitz, A.B. Smith, E.J. Thorne et F.J. Iaconianni, *The Reaction of PCBs with Sodium, Oxygen and Polyethylene Glycols*, Franklin Research Centre, Philadelphia, Pennsylvania.

Rollins Environmental Services, *Incineration of PCBs, Summary of Approval Actions*, Deer Park, Texas, Région 6, EPA Solid Waste Branch, Dallas, Texas, (6 février 1981).

Sonksen, M., Aluminium Co. of Am. (ALCOA), communication personnelle (18 février 1982).

Spencer, R., "Queen's Chemist Discovers the Microwave Trigger", *Equinox*, vol. 1, nº 1, p 13 (janvier 1982).

Sworzyn, E.M. et D.E. Ackerman, *Interim Guidelines for the Disposal/Destruction of PCBs and PCB Items by Non-Thermal Methods*, TRW Inc., US EPA Contract, 68-02-3174 (octobre 1981).

Tapsak, D., PPM Incorporated, communication personnelle (janvier 1982).

Thagard Research Corp., *Management of Toxic Wastes with the Thagard High-Temperature Fluid-Wall Reactor*, E. Matovich, présenté au AICHE, South California Section (21 avril 1981).

Townsend, S.J., communication personnelle (1982).

Townsend, S.J., *Chemical Plasma for Waste Destruction*, SJT Consultants, présenté au séminaire sur la gestion des déchets dangereux (Chemical Institute of Canada) Toronto (Ontario) (26 février 1982).

Wan, J., Queen's University, communication personnelle (16 février 1982).

Weitzman, L., *Treatment and Destruction of PCBs and PCB-Contaminated Materials*, Acurex Waste Technologies Corp., Cincinnati, Ohio.

Weitzman, L., Acurex Corp., communication personnelle (12 janvier 1982).

Weitzman, L. et L. Pruce, "Disposing Safely of PCBs: What's Available, What's on the Way", *Power Magazine* (frévrier 1981).

Worne Biochemical Inc., *The Oxyphoton®* Process – A Unique Photo-Oxidative Process for Destroying Recallitrant Hazardous Wastes.

Yagi, O. et R. Sudo, "Degradation of PCBs by Micro-Organisms", *Journal WPCF, 52*, nº 5 (mai 1980).

POOR

QUALITY

ORIGINAL